

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

**Vzájemné zálohování uzlů 110kV/VN v olomoucké aglomeraci
s využitím sítí VN**

**Reciprocal Backup of 110 kV/MV Network Node in Olomouc
Agglomeration with MV Lines Use**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Kaprál**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Vzájemné zálohování uzlů 110kV/VN v olomoucké aglomeraci s
využitím sítí VN
Reciprocal Backup of 110 kV/MV Network Node in Olomouc
Agglomeration with MV Lines Use**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor elektrických sítí a jejich dimenzování
2. Výpočet spolehlivosti dodávky elektrické energie
3. Kvalita elektrické energie
4. Popis stávajícího stavu konkrétní oblasti
5. Návrh na zálohování vybraných uzlů sítě
6. Návrh případného posílení sítě VN pro zálohování jednotlivých uzlů
7. Technicko ekonomické vyhodnocení variant řešení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek Z. : Elektroenergetika, skripta VŠB Ostrava 1992
2. Santarius P. : Elektrické stanice a vedení, skripta VŠB Ostrava 1990
3. Tůma J., Rusek S., Goňo R., Martínek Z., Chemišinec I.: Spolehlivost v elektroenergetice. Praha: ČVUT Praha, 2006, 4, 187 - 254,
4. Dokumentace ČEZ Distribuce, a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

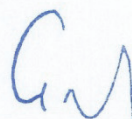
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

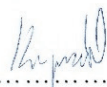


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7.5.2014



Bc. Michal Kaprál

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě dne 7.5.2014



Zástupce společnosti ČEZ distribuce, a.s.

Ing. Jiří Šoltys

Poděkování

Rád bych zde chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za cenné rady, podnětné náměty a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat odbornému konzultantovi panu Ing. Jiřímu Šoltysovi za pomoc při získání potřebných podkladů a informací, odborné rady a profesionální přístup k problematice.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá zálohováním rozvoden 110kV/VN, které se nachází v olomoucké aglomeraci. V teoretické části jsou definovány parametry elektrických sítí potřebných k výpočtům ustáleného chodu a k jejich dimenzování. Distribuční soustava je popsána jak z technického hlediska, včetně spolehlivostních výpočtů, tak i z pohledu současné legislativy. Praktická část diplomové práce se zabývá popisem rozvoden v zadané oblasti a možnostmi jejich zálohování v případě výpadku určitého prvku elektrizační soustavy. Návrh jednotlivých variant bude proveden výhradně manipulacemi v síti VN. Pro každou variantu je vytvořeno schéma, v němž jsou zaznačeny provedené manipulace a proudové zatížení jednotlivých vývodů. V případě více nalezených variant je k výběru nejvhodnější varianty využito vícekriteriální analýzy.

Klíčová slova

Elektrická stanice, distribuční soustava, vysoké napětí, zálohování, transformátor, vývod z rozvodny, manipulace, elektrické ochrany

Abstract

The diploma thesis deals with backup of 110kV/MV substations located in Olomouc agglomeration. The theoretical part defines the necessary parameters of electrical networks for calculation of stabilized operation and their settings. The distribution system is described from technical point of view, including reliability calculations, and in terms of current legislation. The practical part deals with the description of substations in the given area, and their backup in case of failure of an element of the power system. The proposal of individual options will be made solely by manipulation in the network MV. The scheme marked by handlings is created for each variant and current load of individual terminals. Providing that more variants are found, the multicriterion analysis is used to select the most suitable variant.

Key words

Electrical stations, distribution systems, mid voltage, backup, transformer, outgoing line from network node, manipulation, electrical protection.

Seznam zkratk

ČSN	České technické normy
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční transformační stanice
ES	Elektrizační soustava
MCA	Multikriteriální analýza
NN	Nízké napětí
PS	Přenosová soustava
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

Seznam symbolů

A	Energie přenesená vedením za rok ($\text{kW} \cdot \text{h}$)
a_S	Střední vzdálenost vodičů (m)
A_S	Střední vzdálenost vodičů od zrcadlových obrazů (m)
a_{xy}	Vzdálenost mezi středy vodičů (m)
A_{xy}	Vzdálenost vodičů od zrcadlových obrazů (m)
B_k	Susceptance na km (S)
C_k	Provozní kapacita na km ($\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$)
$\cos \varphi$	Účinník (—)
d	Vzdálenost vodičů ve svazku (m)
f	Kmitočet (Hz)
G_k	Svodová vodivost na km ($\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$)
h_S	Střední výška vodičů (m)
h_x	Výška vodičů nad zemí (m)
I	Proud (A)
\bar{I}^*	Komplexně sdružený proud (A)
\bar{I}_1	Proud na začátku vedení (A)
\bar{I}_2	Proud na konci vedení (A)
I_A	Proud zajišťující samočinné působení ochranného prvku (A)
I_{ξ}	Činná složka proudu (A)
I_j	Jalová složka proudu (A)
I_{NAB}	Nabíjecí proud (A)
K	Koeficient, který respektuje teplotou jádra kabelu před a po zkratu (—)
k_p	Činitel pohotovosti (—)
k_v	Činitel prostoje (—)
l	Délka vodiče (km)
L_k	Indukčnost na km ($\text{H} \cdot \text{km}^{-1}$)
n	Roční počet přerušení přenosu elektřiny (—)
N	Počet poruch (—)
n_{jh}	Celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku j -té události (—)
n_{jhi}	Počet zákazníků napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení

	distribuce elektřiny dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události. (—)
N_p	Počet poruch prvku příslušného typu (—)
N_{Sh}	Celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku (—)
P_2	Činný výkon na konci vedení (W)
P_i	Instalovaný výkon spotřebičů dané skupiny (kW)
$P_{ned,i}$	Výkon dopravovaný účastníkovi trhu s elektřinou do předávacího místa z přenosové soustavy, ve kterém došlo k i -tému přerušení přenosu elektřiny, těsně před tímto přerušením (kW)
Q	Náboj vodiče ($C \cdot m^{-1}$)
Q_2	Jalový výkon na konci vedení (var)
r	Poloměr vodiče (m)
R	Činný odpor (Ω)
R_{20}	Činný odpor při teplotě 20 °C (Ω)
r_e	Ekvivalentní poloměr (m)
R_k	Činný odpor na km ($\Omega \cdot km^{-1}$)
R_ϑ	Činný odpor při teplotě ϑ (Ω)
S	Průřez vodiče (mm^2)
t	Počet provozních hodin připojených zařízení za rok (h)
T	Tepelný odpor mezi vodičem a vzdálenějším okolím (KmW^{-1})
t_i	Doba trvání i -tého přerušení přenosu elektřiny (min)
t_{ji}	Doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události (min)
t_K	Doba trvání zkratu (s)
U	Napětí (V)
U_0	Jmenovité napětí proti zemi (V)
\bar{U}_1	Napětí na začátku vedení (V)
\bar{U}_2	Napětí na konci vedení (V)
U_f	Fázové napětí (V)
U_S	Sdružené napětí (V)
X	Reaktance (Ω)
X_k	Reaktance na kilometr (Ω)
\bar{Z}_k	Impedance na kilometr (Ω)
α	Činitel tlumení (km^{-1})
α_R	Teplotní součinitel odporu (K^{-1})
β	činitel fázového natočení (km^{-1})
$\Delta \bar{U}_{fmax}$	Nejvyšší úbytek napětí (V)
ΔQ	Jalové ztráty (var)
ΔP	Činné ztráty (W)
ΔP_S	Svodové ztráty ($W \cdot m^{-1}$)
$\Delta \bar{S}$	Změna zdánlivého výkonu na vedení (VA)
$\Delta \vartheta$	Teplotní rozdíl mezi povrchem vodiče (izolace) a okolím (K)
$\Delta \vartheta_{20}$	Teplotní rozdíl od 20 °C (K)
$\Delta \vartheta_m$	Maximální dovolený teplotní rozdíl jádra vodiče a okolí (K)
ε	Permitivita ($F \cdot m^{-1}$)
η_m	Účinnost spotřebičů při daném využití (—)
η_s	Účinnost napájecí soustavy (—)
λ	Intenzita poruch (—)
μ	Intenzita oprav (—)
ρ	Měrný odpor vodiče ($\Omega mm^2 m^{-1}$)
ρ_v	Vzdálenost od vodiče (m)
ρ_0	Vzdálenost od vodiče s nulovým potenciálem (m)
ΣP_{ns}	Jmenovitý výkon současně připojených spotřebičů (kW)
ΣP_n	Celkový instalovaný výkon všech spotřebičů (kW)



ΣP_s	Skutečné zatížení současně připojených spotřebičů (kW)
τ_i	Doba poruchy prvku příslušného typu (h)
φ	Fázový posun (°)
ω	Úhlová frekvence

Značení rozvoden



CERV	Rozvodna Červenka 110/22 kV
HDLN	Rozvodna Hodolany 110/22 kV
KRA	Rozvodna Krasíkov 400/110 kV
OLCH	Rozvodna Olomouc Holice 110/22 kV
OLCS	Rozvodna Olomouc Sever 110/22 kV
PRN	Rozvodna Prosenice 400/220/110 kV
STER	Rozvodna Šternberk 110/22 kV
TOL	Rozvodna Teplárna Olomouc 22 kV

Značení prvků použitých ve schématech





• Význam barev prvků ve schématech

-  Prvek sítě je vypnutý
-  Prvek sítě je zapnutý

• Význam výplně prvků ve schématech

-  Prvek je ovládán místně
-  Prvek je ovládán dílkově z dispečinku

• Význam značek použitých ve schématech

-   OC_9434 Distribuční trafostanice (DTS)
-  US_OC_5498 Odpínač
-  US_OC_5208 Odpojovač

Ostatní symboly a zkratky se vyskytují v textu s jejich okamžitým vysvětlením.

OBSAH

Úvod.....	1
1 Elektrické sítě a jejich dimenzování.....	3
1.1 Parametry elektrických sítí.....	3
1.1.1 Parametry venkovních vedení.....	4
1.1.2 Parametry kabelů.....	6
1.2 Ustálený chod elektrických sítí.....	7
1.2.1 Rozvodné střídavé sítě NN a VN (krátká vedení).....	7
1.2.2 Přenosné střídavé sítě VVN a ZVN (dlouhá vedení).....	10
1.3 Dimenzování rozvodu elektrické energie.....	11
1.3.1 Návrh velikosti napájecího zdroje.....	11
1.3.2 Dimenzování vedení.....	12
2 Rozvod elektrické energie.....	14
2.1 Distribuční soustava.....	14
2.1.1 Elektrické stanice.....	14
2.1.2 Elektrické vedení.....	16
2.2 Městské sítě.....	17
2.2.1 Vývoj městských sítí.....	17
2.2.2 Druhy sítí.....	18
3 Kvalita a spolehlivost dodávek elektrické energie.....	20
3.1 Kvalita dodávek elektrické energie.....	20
3.1.1 Standardy přenosu nebo distribuce elektřiny.....	20
3.1.2 Standard kvality napětí.....	20
3.1.3 Kategorie přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny.....	21
3.1.4 Stav nouze.....	21
3.2 Spolehlivost dodávek elektrické energie.....	22
3.2.1 Metody získávání vstupních údajů pro výpočet spolehlivosti.....	23
3.2.2 Základní metody výpočtu spolehlivosti.....	24
3.2.3 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny.....	26
4 Popis stávajícího stavu konkrétní oblasti.....	28
4.1 Rozvodna Hodolany.....	28
4.2 Rozvodna Olomouc Holice.....	30
4.3 Rozvodna Olomouc Sever.....	31

5	Návrh na zálohování vybraných uzlů sítě	33
5.1	Výpadek napájecího transformátoru v rozvodně 110kV/VN.....	33
5.2	Výpadek napájení rozvodny VVN/VN	35
5.2.1	Výpadek napájení rozvodny OLCH.....	35
5.2.1.1	1. varianta zálohování rozvodny OLCH	35
5.2.1.2	2. varianta zálohování rozvodny OLCH	40
5.2.1.3	3. varianta zálohování rozvodny OLCH	44
5.2.2	Výpadek napájení rozvodny OLCS.....	49
5.2.2.1	1. varianta zálohování rozvodny OLCS	49
5.2.2.2	2. varianta zálohování rozvodny OLCS	55
5.2.3	Výpadek napájení rozvodny HDLN.....	61
5.3	Výpadek napájení v uzlové rozvodně Prosenice.....	67
6	Multikriteriální vyhodnocení variant řešení.....	77
6.1	Multikriteriální analýza.....	77
6.2	Stanovení vah kritérií (Fullerova metoda).....	78
6.3	Určení optimální varianty metodou váženého součtu (WSA)	78
	Závěr.....	80
	Seznam použité literatury.....	82
	Seznam obrázků	84
	Seznam tabulek	85
	Seznam příloh.....	86

ÚVOD

Elektrická energie je předpokladem a nezbytností každé výkonné ekonomiky a zároveň vytváří také podstatným způsobem úroveň života jednotlivců a celé společnosti. Tato ověřená skutečnost má i své zpětné vazby, projevující se v požadavcích na poskytovanou elektrickou energii a to v oblasti kvality a spolehlivosti její dodávky.

- *Zajištění dostatečného množství elektrické energie*

Aby byla zajištěna dodávka potřebného množství elektrické energie, musí být zajištěno, že maximální výkon zdrojů ES je větší než maximální výkon odebíraný elektrospotřebiči včetně ztrát, a to v každém okamžiku. To vede k požadavku vytváření jistého rezervního výkonu v ES.

- *Zajištění požadované kvality elektrické energie*

Hlavními provozními parametry, podle kterých je posuzována kvalita elektrické energie, jsou kmitočet a napětí. Kmitočet je kvalitativní parametr celosystémový, při ustáleném chodu ES je ve všech místech soustavy stejný. Napětí není celosystémový parametr, může mít v různých bodech různou velikost a kvalita elektrické energie je určována optimální velikostí napětí uzlů ES, ze kterých jsou napájeni spotřebitelé.

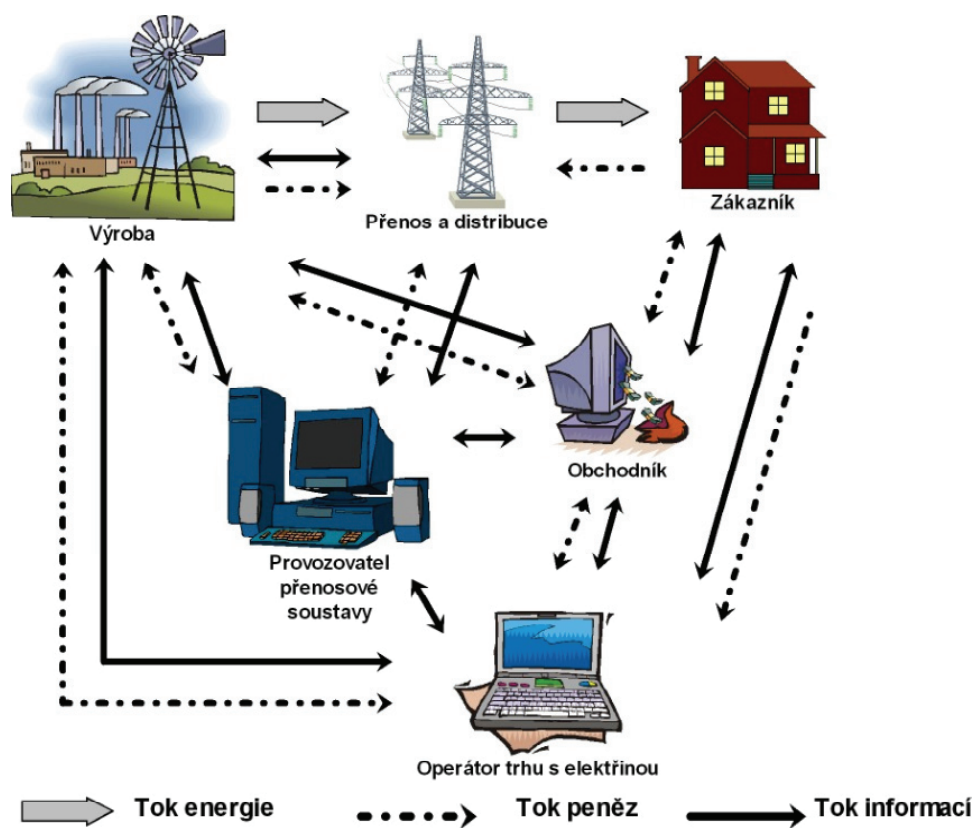
- *Zajištění spolehlivosti dodávky elektrické energie*

Zahrnuje v sobě přerušení dodávky elektrické energie a nepřípustné snížení kvality její dodávky. Příčiny, vedoucí k přerušení dodávky, nebo snížení kvality, mají charakter náhodných jevů a jsou způsobeny např. poruchami v ES, nesprávnou predikcí potřebného elektrického výkonu a energie při přípravě provozu, živelnými pohromami apod. [1]

Elektrizační soustava (ES) je vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémů měřicích, ochranných, řídicích, zabezpečovacích, informačních a telekomunikačních technik. Základní uspořádání elektrizační soustavy je na obr. 1.

Přenosová soustava (PS) je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV, sloužící pro zajištění přenosu elektřiny pro celé území ČR a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států.

Distribuční soustava (DS) je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV (s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy) a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV a 35 kV, sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území ČR.



Obr. 1: Schematické uspořádání ES [1]

Provoz distribuční sítě zajišťuje Provozovatel distribuční soustavy, který se řídí zejména Pravidly provozování distribuční soustavy schvalovanými Energetickým regulačním úřadem a další platnou legislativou. [2]

1 ELEKTRICKÉ SÍTĚ A JEJICH DIMENZOVÁNÍ

1.1 Parametry elektrických sítí

Přenos elektrické energie rozvodnými systémy se podle [3] uskutečňuje třemi fyzikálně odlišnými obvody, které jsou vázány Maxwellovými rovnicemi. Obvod proudový tvoří vodiče, obvod magnetický a dielektrický je v prostoru kolem vodičů.

Elektrické poměry v těchto systémech jsou obecně závislé na dvou tzv. souřadnicových vektorech, které v podélném směru vedení určují komplexní podélnou impedanci [4]

$$\bar{Z}_k = R_k + j\omega L_k \quad (\Omega \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.1)$$

a napříč vedení určují komplexní příčnou admitanci

$$\bar{Y}_k = G_k + j\omega C_k \quad (\text{S} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.2)$$

Ze vztahů (1.1) a (1.2) lze určit komplexní vlnovou impedanci

$$\bar{Z}_V = \sqrt{\frac{\bar{Z}_K}{\bar{Y}_K}} = \frac{R_K + j\omega L_K}{G_K + j\omega C_K} = Z_V \cdot e^{j\varphi_V} \quad (\Omega) \quad (1.3)$$

a komplexní konstantu přenosu

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K} = \alpha + j\beta \quad (\text{km}^{-1}) \quad (1.4)$$

Indukčnost

Kolem vodiče se vytváří elektromagnetické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Proto vykazuje každé elektrické vedení také indukčnost. Odvození indukčnosti vedení vychází ze znalostí řešení elektromagnetického pole.

Rozlišujeme vlastní indukčnost vodiče a vzájemnou indukčnost mezi jednotlivými vodiči. Pro vlastní indukčnost vodiče lze odvodit následující vztah

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{2 \cdot l}{r} - 0,15 \quad (\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.5)$$

Pro vzájemnou indukčnost vodiče bude mít výsledný vztah tvar

$$M_k = 0,46 \cdot \log \frac{2 \cdot l}{a} - 0,2 \quad (\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.6)$$

Kapacita

Kolem vodiče se vytváří elektrické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Proto vykazuje každé elektrické vedení také kapacitu. Odvození kapacity vedení vychází ze znalostí řešení elektrostatického pole.

Základním vztahem, ze kterého se vychází při odvození kapacity vedení, je vztah pro elektrický potenciál.

$$U = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \ln \frac{\rho_0}{\rho_v} \quad (1.7)$$

1.1.1 Parametry venkovních vedení

Pro venkovní vedení se používají vodiče plného průřezu nebo lana, která mohou být z jednoho materiálu (Cu, Al, výjimečně Fe), nebo ze dvou materiálů (AlFe – Fe nosná duše, Al vodivý plášť). U vedení 400 kV a vyšších se používají svazkové vodiče.

Činný odpor vedení

Činný odpor vedení je přímo úměrný měrnému odporu materiálu vedení, délce vedení a nepřímo úměrný průřezu vedení

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\Omega) \quad (1.8)$$

Pro vodiče platí, že odpor s rostoucí teplotou roste

$$R_\theta = R_{20} \cdot (1 + \alpha_R \cdot \Delta\vartheta_{20}) \quad (\Omega) \quad (1.9)$$

Protože v mnoha případech je zem používána jako vodič elektrické energie, je nutno vyjádřit také činný odpor země.

$$R_Z = \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4} \quad (\Omega \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.10)$$

Indukčnost vedení

- *Jednoduché trojfázové vedení symetrické*

Vodiče jsou umístěny ve vrcholech rovnostranného trojúhelníka o straně a . Vzájemné indukčnosti M jsou tedy mezi všemi vodiči stejné. Dále platí, že v každém okamžiku je součet proudů roven nule ($i_1 + i_2 + i_3 = 0$). Z toho pro celkovou indukčnost jednoho vodiče vyplývá

$$L_C = L - M = 0,46 \cdot \log \frac{a_{xy}}{r} + 0,05 \quad (\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.11)$$

- *Jednoduché trojfázové vedení nesymetrické*

Zde opět platí, že součet proudů v každém okamžiku je roven nule. Vzájemné indukčnosti mezi jednotlivými vodiči ale nejsou stejné. Pro odvození bude vybrán okamžik v průběhu trojfázového proudu, kdy proud jedné fáze je maximální. Pro výslednou indukčnost vodiče 1 pak platí

$$L_{C1} = L - \frac{1}{2}M_{12} - \frac{1}{2}M_{13} = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt{a_{12} \cdot a_{13}}}{r} + 0,05 \quad (\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.12)$$

Analogicky lze odvodit vztahy pro celkovou indukčnost vodiče 2 a 3.

Z uvedených vztahů vyplývá, že každý vodič nesymetrického trojfázového vedení má jinou hodnotu indukčnosti. Většinou se počítá tzv. střední indukčnost vedení, která je vyjádřena aritmetickým průměrem indukčností jednotlivých vodičů

$$L_{\text{Cstř}} = \frac{1}{3}(L_1 + L_2 + L_3) = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}}}{r} + 0,05 = 0,46 \log \frac{a_s}{r} + 0,05 \quad (1.13)$$

- *Svazkové vodiče*

Z hlediska elektromagnetického pole se chová svazkový vodič v podstatě jako kruhový vodič o tzv. ekvivalentním poloměru r_e . Pro tento poloměr platí následující vztah

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot \dots \cdot d_{1n}} \quad (1.14)$$

Výsledný vztah pro střední indukčnost vedení se svazkovými vodiči bude mít tvar

$$L_{\text{fstř}} = 0,46 \log \frac{a_s}{r_e} + 0,05 \quad (\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.15)$$

Z tohoto vztahu je patrné, že vedení se svazkovými vodiči má nižší indukčnost a tím i nižší induktivní reaktanci.

Kapacita vedení

- *Trojfázové vedení nesymetrické*

Opět je zde uvažován časový okamžik, kdy ve vodiči 1 je proud maximální (amplituda). Pak pro elektrické náboje platí

$$Q = Q_1; \quad Q_2 = Q_3 = \frac{Q}{2} \quad (1.16)$$

Pro kapacitu vodiče 1 pak platí (analogicky pro kapacitu dalších dvou vodičů):

$$C_1 = \frac{1}{18 \ln \frac{\sqrt{a_{12} \cdot a_{13}}}{r}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.17)$$

U vedení se většinou uvádí střední kapacita vedení, která je dána aritmetickým průměrem kapacit jednotlivých vodičů

$$C_{\text{Cstř}} = \frac{1}{3}(C_{C1} + C_{C2} + C_{C3}) = \frac{1}{18 \ln \frac{\sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}}}{r}} = \frac{1}{18 \ln \frac{a_s}{r}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.18)$$

- *Trojfázové vedení s uvažováním vlivu země*

U tohoto případu je ještě nutno zadat výšku vodičů nad zemí (h_1, h_2, h_3) a vzdálenost vodičů od zrcadlových obrazů (A_{xy}). Pro kapacitu vodiče 1 pak platí

$$C_1 = \frac{1}{18 \ln \frac{\sqrt{a_{12} \cdot a_{13}} \cdot 2 \cdot h_1}{\sqrt{A_{12} \cdot A_{13}} \cdot r}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.19)$$

Analogicky platí vztahy pro vodič 2 a 3. Střední kapacita vodiče je dána aritmetickým průměrem kapacit jednotlivých vodičů

$$C_{\text{Cstř}} = \frac{1}{18 \ln \frac{\sqrt[3]{a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{23}} \cdot 2 \cdot \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}}{\sqrt[3]{A_{12} \cdot A_{13} \cdot A_{23}} \cdot r}} = \frac{1}{18 \ln \frac{a_s \cdot 2 \cdot h_s}{A_s \cdot r}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.20)$$

- *Svazkové vodiče*

Pro kapacitu vedení se svazkovými vodiči platí stejné vztahy, které byly uvedeny s tím rozdílem, že místo poloměru vodiče r se dosazuje hodnota ekvivalentního poloměru svazku r_e .

Zákrut (transpozice) vedení

Aby vlivem rozdílných indukčností vodičů nedošlo k nesymetrii napětí na konci vedení, provádí se na vedeních VVN a ZVN tzv. zákrut. V místě zákrutu se provede vystřídání pozice vodičů v hlavě stožáru. Zákrutem se dosáhne toho, že indukčnost každé fáze je přibližně stejná. Jeden zákrut se provádí do 200 km délky vedení, na 300 km vedení je pak proveden plný zákrut.

Svodová vodivost vedení

Svod (svodová vodivost) je způsobena vodivostí izolátorů. Svod tedy závisí na kvalitě izolátorů, ale také na provozních a atmosférických podmínkách. Svod způsobuje činné ztráty na vedení. Svod se také obvykle vyjadřuje v hodnotách svodových ztrát na kilometr vedení

$$\Delta P_S = 3 \cdot U_f^2 \cdot G_S = U_S^2 \cdot G_S \quad (1.21)$$

1.1.2 Parametry kabelů

Kabely se používají v městských a průmyslových rozvodech NN a VN. Ve velkoměstech se používá kabelů VVN.

Indukčnost kabelů

U kabelu je indukčnost nižší než u venkovního vedení o stejných přenosových schopnostech. Vztah (1.13) je možno použít pouze pro trojfázové plastové kabely. U kabelů se stíněním, pancířem atd. platí vztahy složitější. Induktivní reaktanci kabelů na kilometr délky udává výrobce.

Kapacita kabelů

Obecně lze konstatovat, že kapacita kabelů je větší než kapacita venkovního vedení stejné napěťové hladiny a stejných přenosových schopností. Vyplývá to z dříve uvedených vztahů. Také relativní permitivita izolace kabelů má vyšší hodnotu než jedna. Vzorce pro výpočet kapacity kabelů jsou složitější než u venkovního vedení a jsou závislé na typu kabelu (pokovené žíly, pancíř atd.).

Pokud kapacitu kabelů neudává výrobce, je vhodné ji určit měřením.

Měření kapacity

Kapacita se určuje z měření tzv. nabíjecího proudu. Nabíjecí proud I_{NAB} je proud, který teče do vedení (kabelu) při stavu naprázdno. Kapacita je dána vztahem

$$C = \frac{I_{\text{NAB}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l \cdot U_f \cdot 10^{-6}} \quad (\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.22)$$

Hodnota měřené kapacity je vždy větší než hodnoty vypočtené kapacity. Uvedené výpočtové vztahy respektují pouze vliv vodičů a země. Ve výpočtových vztazích není respektován vliv stožárů, armatur atd. [5]

1.2 Ustálený chod elektrických sítí

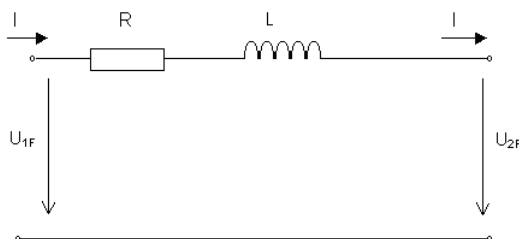
Potřebná vzdálenost a velikost přenášeného výkonu určují pro předpokládané provozní parametry velikost použitého napětí. Velikost přenosového napětí tedy určuje rozměry a provedení elektrického vedení, na nichž jsou podle povahy výpočtu závislé základní elektrické parametry (R_k , L_k , C_k a G_k).

Při praktických výpočtech se některé ze základních parametrů zanedbávají právě podle toho, jaké je jejich uplatnění při konkrétním přenosu. Přesnost výpočtu vedení je také ovlivněna tím, že základní parametry považujeme pro dané vedení za konstanty.

Při řešení přenosu elektrické energie je výhodné používat komplexní parametry (\bar{Z}_k a \bar{Y}_k). [6]

1.2.1 Rozvodné střídavé sítě NN a VN (krátká vedení)

Při výpočtu střídavých vedení NN a některých krátkých vedení VN jde obvykle o vedení s nepatrnou kapacitou, kde se prakticky uplatňuje pouze ohmický a induktivní odpor. Vedení bude tedy nahrazeno podélnou impedancí \bar{Z} . V případě trojfázového vedení bude uvažován symetrický provoz, proto je možné použít jednofázový model vedení.

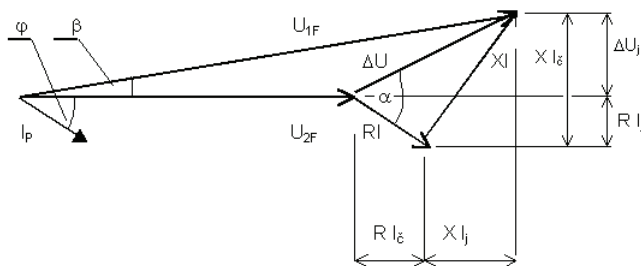


Obr. 1.1: Jednofázový model vedení [7]

Pro úbytek napětí na tomto modelu platí pro induktivní zátěž vztah

$$\Delta \bar{U}_f = (R + jX) \cdot (\bar{I}_c - j\bar{I}_j) = (R \cdot \bar{I}_c + X \cdot \bar{I}_j) + j(X \cdot \bar{I}_c - R \cdot \bar{I}_j) \quad (1.23)$$

Úbytek napětí má svou reálnou i imaginární složku, to vyplývá ze vztahu (1.23) i z fázorového diagramu na obr. 1.2.



Obr. 1.2: Fázorový diagram vedení [7]

Úhel α je tzv. úhel vedení, jeho tangenta je rovna poměru X/R . Je-li $\alpha = \varphi$ je hodnota jalové složky úbytku napětí $\Delta \bar{U}_j$ rovna nule. Úhel β je tzv. zátěžný úhel a u běžných vedení VN a NN je jeho hodnota velmi malá, nabývá hodnot do 3° .

Při praktických výpočtech se zanedbává jalová složka úbytku napětí, a proto je možné napsat následující vztah

$$\Delta \bar{U}_f = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = \frac{R \cdot P_2 + X \cdot Q_2}{3 \cdot U_f} + j \frac{X \cdot P_2 + R \cdot Q_2}{3 \cdot U_f} \quad (1.24)$$

Pravá strana výrazu (1.24) nám udává vztah pro výpočet úbytku napětí na vedení při zadaném trojfázovém činném a jalovém výkonu.

Pro stanovení úbytku napětí na střídavém vedení se nejčastěji používá vztah (1.24), který má dvě části, přičemž pouze první část ΔU_1 je závislá na průřezu (obsahuje odpor R). [7]

Trojfázové ztráty činné stanovíme z výrazu pro změnu komplexního výkonu na vedení

$$\begin{aligned} \Delta \bar{S} &= 3 \Delta \bar{U}_f \bar{I}^* = 3(R + jX) \bar{I} \bar{I}^* = 3(R + jX) I^2 = 3RI^2 + j3XI^2 = \Delta P + j\Delta Q \quad (\text{VA}) \\ \Delta P &= 3RI^2 = 3R(I_c^2 + I_j^2) \quad (\text{W}) \end{aligned} \quad (1.25)$$

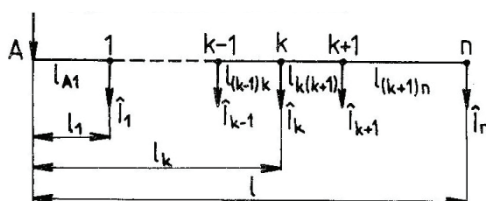
Poslední rovnice upozorňuje, že i jalový proud tekoucí vedením, způsobuje činné ztráty.

Jednostranně napájené trojfázové vedení

Pro řešení tohoto vedení udáváme podélnou impedanci na 1 km délky ve tvaru

$$\bar{Z}_k = R_k + jX_k \quad (\Omega \cdot \text{km}^{-1}) \quad (1.26)$$

a předpokládáme ji jednotnou v celé délce.



Obr. 1.3: Jednostranně napájené trojfázové vedení [4]

Největší úbytek napětí bude na konci vedení

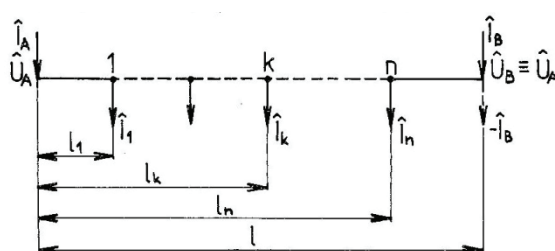
$$\Delta \bar{U}_{\text{fmax}} = \Delta \bar{U}_{\text{An}} = \bar{Z}_k(l\bar{I}_n + \dots + l_{k+1}\bar{I}_{k+1} + l_k\bar{I}_k + l_{k-1}\bar{I}_{k-1} + \dots + l_1\bar{I}_1) = \bar{Z}_k \sum_{k=1}^n l_k \bar{I}_k \quad (1.27)$$

Zanedbáme-li imaginární část v předchozím výrazu a budeme-li uvažovat induktivní charakter zátěže, dostaneme po roznásobení

$$\Delta \bar{U}_{\text{fmax}} = R_k \sum_{k=1}^n l_k \bar{I}_{\text{ck}} + X_k \sum_{k=1}^n l_k \bar{I}_{\text{jk}} \quad (1.28)$$

Dvoustranně napájené trojfázové vedení

Napájecí proud \bar{I}_B dodávaný napáječem uvažujeme jako neznámý záporný odběr.



Obr. 1.4: Dvoustranně napájené trojfázové vedení [4]

Pro jednostranně napájené vedení s jedním záporným odběrem bude platit podle rovnice (1.27)

$$\Delta \bar{U}_{\text{AB}} = 0 = \bar{Z}_k \sum_{k=1}^n l_k \bar{I}_k - \bar{Z}_k \cdot l \bar{I}_B \quad (1.29)$$

Za předpokladu stejného provedení vedení se ve výrazu (1.) podélná impedance zkrátí a pracujeme jen s délkami. Proud jednoho napáječe se zjistí jako podíl proudových momentů ke druhému napáječi a délky okružního vedení

$$\bar{I}_B = \frac{\sum_{k=1}^n l_k \bar{I}_k}{l}; \quad \bar{I}_A = \frac{\sum_{k=1}^n (l - l_k) \bar{I}_k}{l} \quad (1.30)$$



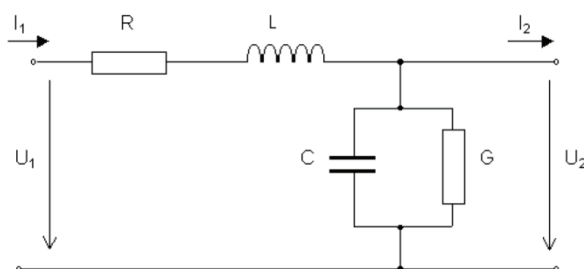
Obr. 1.5: Proudové rozložení podél vedení [4]

Na rozdíl od stejnosměrného okružního vedení se často vyskytuje jedno místo, kde mění znaménko činný proud a jedno místo, kde mění znaménko jalový proud. O místě největšího úbytku napětí se v tomto případě rozhodne výpočtem pro oba styčné body podle rovnice (1.24). [4]

1.2.2 Přenosné střídavé sítě VVN a ZVN (dlouhá vedení)

Elektrické soustavy modelujeme obvody se soustředěnými nebo rozloženými parametry. Náhrada elektrických vedení soustředěnými parametry je možná pouze tehdy, když délka tohoto vedení je malá v porovnání s délkou vlny (u venkovního vedení je délka vlny přibližně 6000 km). Dáme-li do souvislosti délku vedení a použitou velikost napětí, je zřejmé, že náhrada vedení s rozloženými parametry se bude týkat vedení VVN a ZVN. [6]

Vedení s rozloženými parametry



Obr. 1.6: Elementární úsek vedení [7]

Řešení vedení v ustáleném stavu na obr 1.6 a pro napětí a proud harmonicky se měnící s časem s použitím okrajových podmínek (pro $x = 0$ jsou hodnoty proudu a napětí rovny hodnotám těchto veličin na konci vedení) je vyjádřeno vztahy

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \bar{U}_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_V \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \\ \bar{I}_1 &= \bar{U}_2 \cdot \frac{1}{\bar{Z}_V} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) + \bar{I}_2 \cdot \cosh(\gamma \cdot l)\end{aligned}\quad (1.31)$$

Další praktickou úpravou výsledných rovnic je zápis pomocí tzv. Blondelových konstant

$$\bar{A} = \bar{D} = \cosh(\gamma \cdot l); \quad \bar{B} = \bar{Z}_V \cdot \sinh(\gamma \cdot l); \quad \bar{C} = \frac{1}{\bar{Z}_V} \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \quad (1.32)$$

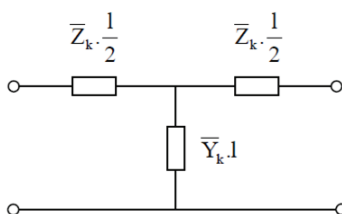
Potom rovnice (1.31) přecházejí na tvar

$$\bar{U}_{1f} = \bar{U}_{2f} \cdot \bar{A} + \bar{I}_2 \cdot \bar{B} \quad (1.33)$$

$$\bar{I}_1 = \bar{U}_{2f} \cdot \bar{C} + \bar{I}_2 \cdot \bar{D} \quad (1.34)$$

Vedení se soustředěnými parametry

- *Náhrada vedení článkem T*



Obr. 1.7: Náhradní schéma vedení článkem T [7]

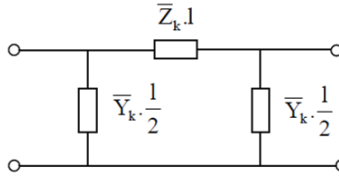
Parametry vedení jsou soustředěny tak, že podélná impedance je souměrně rozložena na začátku a na konci vedení, příčná admitance je uprostřed vedení, přičemž u ní zanedbáváme svod, tedy $G_k = 0$; $\bar{Y}_K = jB_K$.

Podle schématu na obr. 1.7 platí

$$\bar{U}_{1f} = \bar{U}_{2f} \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{2}\right) + \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_K \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{4}\right) \quad (1.35)$$

$$\bar{I}_1 = \bar{U}_{2f} \cdot \bar{Y}_K \cdot l + \bar{I}_2 \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{2}\right) \quad (1.36)$$

- Náhrada vedení článkem Π



Obr. 1.8: Náhradní schéma vedení článkem Π [7]

Článek má soustředěnou podélnou impedanci uprostřed vedení a příčná admitance, rozdělená na poloviny, je na začátku a na konci vedení, přitom také zanedbáváme svod ($G_k = 0$; $\bar{Y}_K = jB_K$).

Ze schématu na obr. 1.8 lze odvodit

$$\bar{U}_{1f} = \bar{U}_{2f} \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{2}\right) + \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_K \cdot l \quad (1.37)$$

$$\bar{I}_1 = \bar{U}_{2f} \cdot \bar{Y}_K \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{4}\right) + \bar{I}_2 \cdot \left(1 + \frac{\bar{Z}_K \cdot \bar{Y}_K \cdot l^2}{2}\right) \quad (1.38)$$

Metody výpočtu pomocí článku T a Π se v praxi nejčastěji používají pro rychlé orientační výpočty asi do délky 300 až 400 km, přičemž metoda Π je poněkud přesnější než metoda T. [7]

1.3 Dimenzování rozvodu elektrické energie

1.3.1 Návrh velikosti napájecího zdroje

Návrh zdroje musí podle [8] vycházet ze skutečnosti, že ve skupině spotřebičů je jen velmi malá pravděpodobnost, že by všechny spotřebiče pracovaly najednou a nepatrná pravděpodobnost, že by tyto spotřebiče byly využity současně na plný výkon. Proto se počítá s tzv. činitelem současnosti k_s a tzv. činitelem zatížitelnosti k_z

$$k_s = \frac{\sum P_{ns}}{\sum P_n}; \quad k_z = \frac{\sum P_s}{\sum P_{ns}} \quad (1.39)$$

Oba uvedené činitele pak určují tzv. náročnost β , podle rovnice

$$\beta = \frac{k_s k_z}{\eta_m \eta_s} = \frac{1}{\eta_m \eta_s} \frac{\sum P_s}{\sum P_n} \quad (1.40)$$

Pomocí uvedeného činitele náročností β pak určíme skutečné zatížení (výpočtové zatížení), ze kterého vyplyne velikost napájecího zdroje

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad (1.41)$$

Z určeného výpočtového zatížení pak zjistíme výpočtový proud

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi} \quad (\text{kW}) \quad (1.42)$$

1.3.2 Dimenzování vedení

Nároky na elektrická vedení jsou velmi obsáhlá a často i protichůdná. Požadují se nízké pořizovací náklady, nízké provozní náklady a na druhé straně vysoká přenosová schopnost, spolehlivost, odolnost vůči vlivům okolí, bezpečnost provozu, hospodárnost atd. Vedení se musí dimenzovat tak, aby byly splněny následující požadavky [7]

Proudové zatížení vodičů

Dimenzování průřezu vodiče na dovolený proud vychází z dovoleného oteplení vodiče. Průchodem proudu vodiči dochází ke ztrátám a tím k vývinu tepla. Pro tepelné ztráty tedy platí

$$\Delta P = R \cdot I^2 = \frac{\Delta \vartheta}{T} \quad (1.43)$$

Pro maximální hodnotu proudu, kterým může být vodič zatěžován, pak platí vztah

$$I = \sqrt{\frac{\Delta \vartheta_m}{R \cdot T}} \quad (1.44)$$

Dovolený úbytek napětí

Úbytek napětí na daném vedení tedy nemůže přesáhnout dovolenou hodnotu úbytku napětí. Hodnota úbytku napětí je rovna rozdílu hodnoty napětí na začátku vedení a hodnoty napětí na konci vedení $\Delta U = U_1 - U_2$.

Výpočet úbytku napětí je možno provést při znalosti výpočtového proudu daných spotřebičů a příslušné konfigurace sítě. Pro tento výpočet je také nutno provést úvahu o respektování jednotlivých parametrů vedení. Ve většině výpočtů se totiž některé parametry vodičů zanedbávají.

Odolnost vůči zkratovým proudům

Vedení musí odolat jak dynamickým, tak i tepelným účinkům zkratových proudů, které v daném místě připadají v úvahu.

Dynamické síly vznikají elektromagnetickým působením proudů v sousedních vodičích. Největší silový ráz způsobuje tzv. nárazový zkratový proud (I_{KM}).

Tepelné účinky zkratového proudu mohou působit nepříznivě hlavně na izolaci vodičů. Tepelné účinky zkratového proudu se posuzují podle tzv. ekvivalentního oteplovacího proudu (I_{KE}), což je fiktivní hodnota střídavého proudu stálé velikosti, která za dobu působení zkratu má stejné tepelné účinky jako skutečný zkratový proud. Pro minimální průřez kabelu platí s ohledem na tepelné účinky zkratového proudu vztah

$$S_{MIN} = \frac{I_{KM} \cdot \sqrt{t_K}}{K} \quad (1.45)$$

Velikost zkratového proudu v elektrických rozvodech může být významně ovlivněna jištěním. Správně dimenzovaná pojistka přeruší zkratový proud dříve, než dosáhne své maximální možné hodnoty.

Mechanická odolnost

Venkovní vedení jsou mechanicky namáhány při montáži nebo i při samotném provozu. Výpočet mechaniky vedení je většinou prováděn u venkovních vedení VN a VVN. Tam se počítá minimální průřez vodiče s ohledem na jeho hmotnost a povětrnostní vlivy (vítr, námraza). Dále jsou zde prováděny mechanické výpočty stožárů a jejich základů.

Hospodárny průřez

K výpočtu hospodárneho průřezu je nutné určit tzv. dobu plných ztrát (T). Doba plných ztrát je definována jako čas za který by maximální výpočtové zatížení způsobilo ve vedeních stejné ztráty jako skutečné zatížení za jeden rok. Pro tuto hodnotu platí následující vztah

$$T = t \cdot \left[0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \left(\frac{A}{P_p \cdot t} \right)^2 \right] \quad (\text{hod} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (1.46)$$

Hospodárny průřez jedné fáze vedení se pak vypočte podle vztahu

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} \quad (\text{mm}^2) \quad (1.47)$$

Bezpečnost provozu

Kritérium bezpečnosti provozu je hlavním kritériem pro dimenzování vodičů. Jedná se o správné působení ochrany před nebezpečným dotykem. Impedance poruchové smyčky (Z_S) musí splňovat

$$Z_S \cdot I_A \leq U_0 \quad (1.48)$$

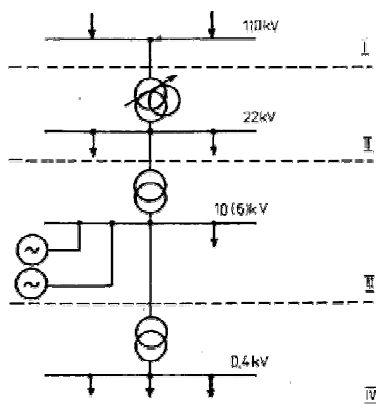
2 ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE

2.1 Distribuční soustava

Distribuční soustava 110 kV tvoří základní pilíř DS. Sítě zajišťují tranzit elektřiny z uzlových transformoven ZVN/VVN a VVN/VVN do transformoven 110 kV/VN. Do těchto sítí je vyveden výkon řady elektráren o výkonech desítek MW, jsou provozovány zpravidla jako okružní. Sítě se vyznačují velice nízkou četností poruch a díky způsobu provozu a zálohování většina poruch při správném působení ochranných systémů nezpůsobí přerušení dodávky elektřiny odběratelům. Vedení jsou nejčastěji konstruována jako dvojítá.

Distribuční sítě VN jsou tvořeny venkovními a kabelovými vedeními provozovanými v převážné míře s napětím 22 kV, resp. 35 kV. Z minulosti jsou v provozu sítě s napětím 3, 6 a 10 kV. V drtivé většině jsou tyto sítě provozovány paprskově případně formou průběžného rozvodu.

Distribuční sítě NN jsou provozovány převážně paprskovým a průběžným rozvodem, husté městské sítě jsou provedeny jako mřížové. [2]



Obr. 2.1: Návaznost napěťových hladin distribučních rozvodných soustav [11]

2.1.1 Elektrické stanice

Elektrická stanice je ucelené zařízení uzlu ES, sloužící buď k transformaci elektrické energie na jiné napětí a k jejímu rozvádění (transformovna), nebo k rozvádění energie téhož napětí (spínací stanice) nebo k přeměně elektrického proudu střídavého na proud o jiném kmitočtu nebo stejnosměrný a k jeho rozvádění (měnárna).

Dále lze rozdělit elektrické stanice také podle způsobu obsluhy:

- s trvalou obsluhou
- bez obsluhy (s pravidelným dozorem, nebo s dálkovým ovládáním)

Hlavní části elektrických stanic:

- 1) elektrická část
 - a) zařízení hlavního silového obvodu – rozvodná zařízení, transformátor, usměrňovač, kompenzační zařízení (kompenzační tlumivka, kondenzátorová baterie, kompenzátor)
 - b) společná zařízení – vlastní spotřeba střídavá a stejnosměrná (akumulátorové baterie)
 - c) řídicí a zabezpečovací systémy – měření, ovládání, ochrany, automatiky apod.
- 2) společná a pomocná část – olejové a vodní hospodářství, revizní věž, dílny, sklady, administrativa, atp.
- 3) stavební část – pozemek, budovy, komunikace, atp.

Schémata elektrických stanic

Schémata elektrických stanic nám určují jejich provozní vlastnosti a jsou určovány mnoha odlišnými parametry, jako jsou např.:

- provozní požadavky (zapojení do ES)
- bezpečnost provozu (ochrana před zkratovými proudy, ochrana před úrazem, zamezení chybné manipulace)
- provozní a ekonomická hospodárnost

Schémata elektrických stanic by měla být, je-li to možné, co nejvíce přehledná a také co nejjednodušší. Schéma elektrické stanice tvoří odbočky a přípojnice.

Odbočky

Odbočky jsou základním prvkem rozvodného zařízení a tvoří je soubory připojených souborů, které slouží ke spínání, měření a ochraně přívodů a vývodů elektrické energie.

Dělení odboček:

- 1) dle funkce
 - a) hlavní – alternátorové,
 - transformátorové
 - vývodové (venkovní, kabelové, motorové, kondenzátorové, tlumivkové)
 - b) pomocné – spínače hlavních a pomocných přípojníc, pro měření napětí, pro bleskojistky
- 2) dle výzbroje
 - a) provozní
 - b) záložní – s plnou výzbrojí, s částečnou výzbrojí

Přípojnice

Zajišťují samotné propojení odboček mezi sebou. Přípojnice jsou holé vodiče o průřezu daném jejich proudovým zatížením a funkčními požadavky, jako jsou pevnost a zkratové poměry.

V praxi se u rozvodných zařízení setkáváme s provedením buď s jedním či více systémy přípojníc. Podle počtu se pak tato zařízení dělí na zařízení:

- a) s přímými přípojnícemi (jednoduchými, jednoduchými a pomocnými, dvojíty, dvojíty a pomocnými, trojíty, trojíty a pomocnými)
- b) s okružními přípojnícemi (bez záložního spínače, se záložním spínačem) – okružní přípojnice jsou uzavřenou soustavou přípojníc zapojených do polygonu troj, čtyř nebo až osmiúhelníku.
- c) bez přípojníc
- d) s větším počtem vypínačů na odbočku

Dispoziční a konstrukční řešení elektrických stanic

Dispoziční a konstrukční uspořádání elektrických stanic je určeno dispozičním a konstrukčním uspořádáním jejich jednotlivých částí. Při volbě dispozičního řešení se vychází z těchto požadavků: navržené elektrické schéma (počet přípojnícových systémů, počet a vybavení odboček, transformátorů atd.); jmenovité napětí; druh stanice; druh přívodu (venkovní nebo kabelový); hospodárnost (investiční i provozní); bezpečnost provozu i osob.

Základní možné uspořádání rozvodných zařízení:

- a) Rozvodná zařízení VVN (nad 52 kV): venkovní, halové (při velkém znečištění ovzduší), zapouzdřené (zejména tam, kde je nedostatek místa)
- b) Rozvodná zařízení VN (do 52 kV): kobkové, kobkové panelové (z prefabrikovaných dílců), skříňové (venkovní i vnitřní), halové, venkovní
- c) Rozvodná zařízení NN (do 1 kV): kobkové, halové, rozvaděče (venkovní i kabelové)
- d) Stanoviště transformátorů umístěné: v rozvodném zařízení, v transformátorových komorách, na volném stání [9]

2.1.2 Elektrické vedení

Elektrické vedení je základním prvkem jak PS tak i DS a představuje soubor vodičů, izolačních materiálů a konstrukcí určených pro přenos elektrické energie mezi uzly elektrické sítě.

Venkovní vedení

Převažují v sítích 110 kV distribuční soustavy a ve venkovních sítích VN. V sítích VN a NN městských a průmyslových se objevují jen výjimečně. Sestávají z holých vodičů (drátu, lan), ze stožárů a izolátorů. Vyhledávání poruch je jednoduché. Jsou poruchovější, ale hodně poruch má přechodný charakter.

Kabelové vedení

Převažují v elektrických sítích městských a průmyslových na VN i NN, ve velkých městech se používají i kabely 110 kV. Jsou různého provedení:

- Al nebo Cu, dráty nebo lana, kruhový nebo sektorový průřez,
- jednožilové, vícežilové (3 nebo 4 žíly),
- s různou izolací žil, s různým materiálem stínění, obalu apod. a s různým uspořádáním stínění,
- pro kabely VVN je izolací papír napuštěný olejem, polyetylén, SF₆.

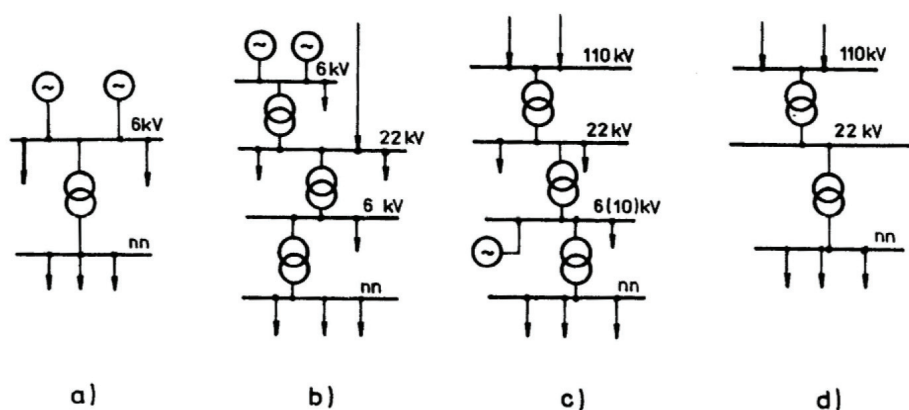
Mají méně poruch než venkovní vedení, ale poruchy jsou trvalé. Mají menší indukčnost, ale větší kapacitu než venkovní vedení. Na stejné vzdálenosti mají při stejném průřezu menší úbytek napětí ΔU a také menší jalové ztráty ΔQ než venkovní vedení. Jsou však dražší.

Využití kabelového či venkovního vedení je z velké části závislé na místních topografických či technických podmínkách, a také na stanovených požadavcích na bezpečnost i spolehlivost provozu vedení. [10]

2.2 Městské sítě

2.2.1 Vývoj městských sítí

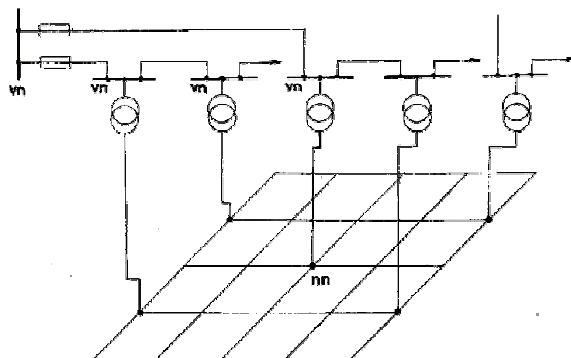
Rozvoj městských kabelových sítí byl podmíněn technologickými možnostmi výroby kabelů a hodnotou zatížení v městských aglomeracích. Proto se u nás napětí kabelových sítí postupně zvyšuje. Z původních sítí 3 kV se přešlo na 6 kV, v současné době se přechází na 10 a 22 kV. Jelikož se nové napěťové stupně zavádějí dříve, než staré dožijí, objevují se v městských aglomeracích sítě s několika stupni napětí VN, jak je nakresleno na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Stupně vývoje elektrizace [9]

Na obr. 2.2 a) je naznačeno nejjednodušší schéma pro úrovní stupeň vývoje elektrizace. V dalším stupni rozvoje se objevovali tři, čtyři a u velkých měst i pět stupňů napětí (obr. 2.2 b), c)). Modernější koncepcí dochází opět k zjednodušování sítí a k přechodu na normalizované stupně napětí, jak je naznačeno na obr. 2.2 d). [9]

Nejnovější schéma napájení městské sítě je symetrický napájecí systém s přímou transformací VVN/VN a se třemi hladinami napětí, viz obr. 2.3. Připojení velkých průmyslových závodů (velkoodběratelů) na napáječe mřížové sítě se nedoporučuje.



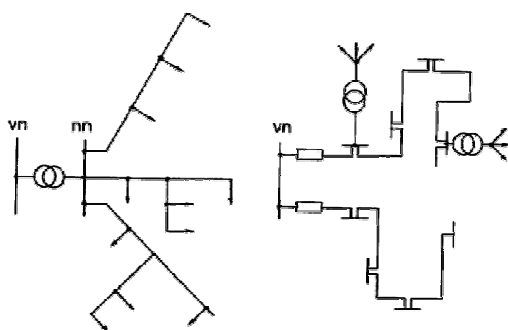
Obr. 2.3: Schéma napájení městské sítě [11]

Městské sítě jsou částí distribuční sítě částí distribuční soustavy a jsou na ně kladeny stejné požadavky jako na sítě distribuční. Těmito požadavky se rozumí zajištění zásobování spotřebitelů v požadovaném čase, v potřebném množství a místě při požadované kvalitě a spolehlivosti dodávky. Přitom respektovat hospodárnost. [10]

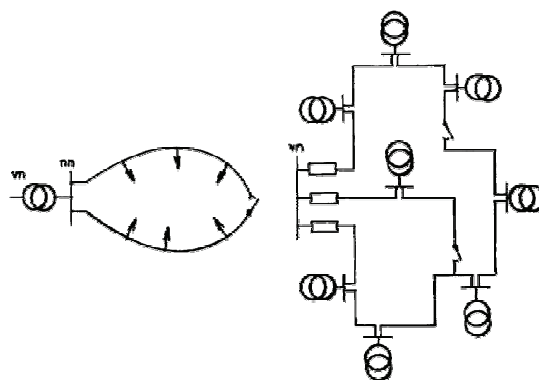
2.2.2 Druhy sítí

Sítě paprskové radiální

Vedení vychází z transformovny a zásobuje jednotlivé odběry. Každý paprsek je samostatný a nelze je vzájemně spojovat. Paprskový způsob zásobování je sice nejlacinější, ale jistota dodávky je nejmenší. Používá se v malých městech a vesnicích.



Obr. 2.4: Schéma paprskové sítě NN a VN [11]



Obr. 2.5: Schéma okružní sítě [11]

Sítě okružní

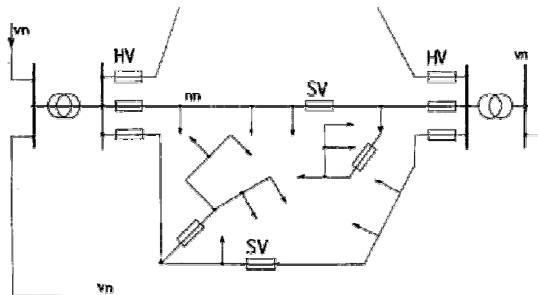
Jednotlivé polosmyčky jsou vedeny tak, aby se daly ve spínacích trafostanicích sepnout. Obvykle se provozují rozepnuté, tedy jako paprskové. Sítě okružní jsou dražší než paprskové pro větší délku nezbytných vedení, avšak jsou provozně jistější. Provoz rozepnutých okružních sítí je přehledný a nenáročný. Používá se v praxi pro všechny hladiny napětí NN, VN a VVN.

Mřížové sítě

Používají se převážně u NN kabelových sítí, v některých případech i u VN sítí.

Zjednodušená mřížová síť

Tyto sítě jsou sestaveny a jištěny tak, aby se vadný úsek selektivně odpojil pojistkami. Ostatní síť musí zůstat v provozu. Zjednodušenou mřížovou síť lze vytvořit tehdy, pracují-li do společné sítě alespoň dva transformátory. Mezi těmito napájecími body je spojení hlavním vedením, magistrálou, s většími průřezy, jištěné výkonovými pojistkami. V místě kritického průřezu jsou umístěny tzv. pojistky slabé vazby, které mají odpojit úsek v poruše před pojistkami hlavními.

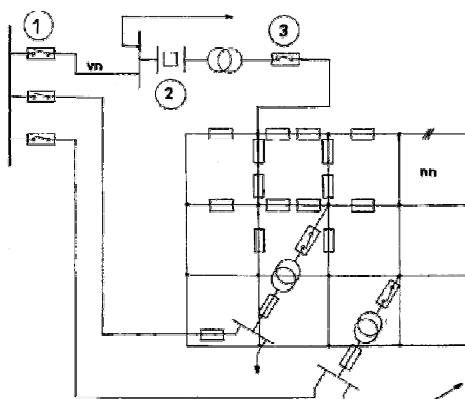


Obr. 2.6: Schéma zjednodušené mřížové sítě [11]

Poměr jmenovitých proudů pojistek hlavní vazby a slabé vazby je dva ku jedné. Distribuční transformovny VN/NN jsou napájeny jedním venkovním vedením VN, případně dvěma při okružním systému VN.

Klasické mřížové sítě

Slouží pro napájení větších měst s hustotou $\sigma = 1 \text{ MW} \cdot \text{km}^{-2}$. Mřížová síť je napájena více napájecí VN (3 až 5). Má výhody především v provozní jistotě, lepší využití transformátorů, menší ztráty a kolísání napětí. Nejčastěji se provádějí jako kabelové sítě NN. Nevýhodou jsou vyšší zkratové proudy. Pro transformátory do 315 kVA jistíme výkonovými pojistkami VN, u větších jednotek pak výkonovými odpínači. Kabelové vývody se jistí pomalými pojistkami NN. Mřížová síť ve městech je tvořena kabely stejného průřezu, položenými v každé ulici. Na křižovatkách jsou kabely spojeny zásuvnými pomalými pojistkami. [11]



Obr. 2.7: Schéma klasické mřížové sítě [11]

3 KVALITA A SPOLEHLIVOST DODÁVEK ELEKTRICKÉ ENERGIE

3.1 Kvalita dodávek elektrické energie

Kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, postupy a lhůty pro uplatnění nároku na náhrady, a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb stanovuje [12].

Parametry kvality dodávek jsou vyjádřeny prostřednictvím standardů přenosu nebo distribuce elektřiny, standardů dodávek a ukazateli nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny.

3.1.1 Standardy přenosu nebo distribuce elektřiny

Standardem ukončení přerušení distribuce elektřiny je ukončení přerušení distribuce elektřiny v odběrném nebo předávacím místě provozovatele lokální distribuční soustavy nebo zákazníka, a to ve lhůtě do

- a) 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětíovou úrovní do 1 kV,
- b) 12 hodin v sítích distribuční soustavy s napětíovou úrovní nad 1 kV.

Tato lhůta počíná okamžikem, kdy se provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení distribuce elektřiny nebo kdy vznik přerušení distribuce elektřiny mohl a měl zjistit.

Za nedodržení standardu ukončení přerušení distribuce elektřiny podle § 5 odst. 1 této vyhlášky poskytuje provozovatel distribuční soustavy zákaznickou náhradu ve výši 10 % z jeho roční platby za distribuci, maximálně však

- a) 6 000 Kč v sítích do 1 kV,
- b) 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV,
- c) 120 000 Kč v sítích nad 52 kV.

3.1.2 Standard kvality napětí

Standardem kvality napětí je distribuce elektřiny s odpovídajícími parametry velikosti a odchylky napájecího napětí a frekvence, které jsou v souladu s Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribučních soustav nebo s parametry napětí a frekvence sjednanými ve smlouvě mezi zákazníkem a provozovatelem distribuční soustavy.

Hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí NN, VN a VVN za normálních provozních podmínek udává evropská norma [13]. Norma udává meze nebo

hodnoty charakteristických hodnot napětí, jaké může za normálních provozních podmínek očekávat kterýkoliv uživatel sítě, nepopisuje průměrný stav veřejné distribuční sítě.

Předmětem této evropské normy je definování, popis a specifikace charakteristik napájecího napětí týkající se kmitočtu, velikosti, tvaru vlny a symetrie třífázových napětí.

Tyto charakteristiky za normálního provozu napájecího systému kolísají vlivem změn zatížení, rušení vyvolaným určitým zařízením a výskytem poruch, které jsou většinou způsobeny vnějšími vlivy. Charakteristiky se mění v čase náhodně ve vztahu k libovolnému místu napájení a náhodně pro každé místo napájení ve vztahu k danému časovému okamžiku.

3.1.3 Kategorie přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny

V příloze č. 4 vyhlášky [12] je dělení přerušení přenosu nebo distribuce podle doby trvání na

1. dlouhodobé – s dobou trvání delší než 3 minuty,
2. krátkodobé – s dobou trvání alespoň 1 sekunda a současně ne delší než 3 minuty.

Podle příčiny se přerušení přenosu nebo distribuce dělí na

1. neplánované
 - 1.1. poruchové
 - 1.1.1. způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu
 - 1.1.1.1. za obvyklých povětrnostních podmínek
 - 1.1.1.2. za nepříznivých povětrnostních podmínek
 - 1.1.2. způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
 - 1.2. vynucené
 - 1.3. mimořádné
 - 1.4. v důsledku události mimo přenosovou nebo distribuční soustavu provozovatele soustavy a u výrobce
2. plánované

3.1.4 Stav nouze

Stavem nouze se podle § 54 odst. 1 zákona [14] rozumí stav, který vznikl v ES v důsledku

- a) živelních událostí,
- b) opatření státních orgánů za nouzového stavu, stavu ohrožení státu nebo válečného stavu,
- c) havárií nebo kumulace poruch na zařízeních pro výrobu, přenos a distribuci elektřiny,
- d) smogové situace podle zvláštních předpisů,
- e) teroristického činu,
- f) nevyrovnané bilance elektrizační soustavy nebo její části,
- g) přenosu poruchy ze zahraniční elektrizační soustavy, nebo
- h) je-li ohrožena fyzická bezpečnost nebo ochrana osob

a způsobuje významný a náhlý nedostatek elektřiny nebo ohrožení celistvosti elektrizační soustavy, její bezpečnosti a spolehlivosti provozu na celém území státu, vymezeném území nebo jeho části.

Veškerá omezení spotřeby elektřiny nebo změny dodávek elektřiny při stavu nouze, podle § 6 vyhlášky [15], řídí technický dispečink provozovatele přenosové soustavy nebo technický dispečink provozovatele distribuční soustavy.

Omezení spotřeby elektřiny a změna dodávky elektřiny a změna dodávky elektřiny při stavu nouze jsou prováděny

- a) automaticky podle frekvenčního plánu,
- b) podle vypínacího plánu,
- c) podle regulačního plánu v rozsahu regulačních stupňů č. 1 až č. 7,
- d) operativním vypnutím části zařízení v rozsahu nezbytném pro vyrovnaní výkonové bilance dotčené části elektrizační soustavy,
- e) použitím volných výrobních kapacit,
- f) omezením dodávaného výkonu.

3.2 Spolehlivost dodávek elektrické energie

Spolehlivost lze definovat podle [16] jako obecnou vlastnost objektu, spočívající ve schopnostech plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek.

Objektem v našem případě je elektrizační soustava a technickými podmínkami se rozumí specifikace technických vlastností předepsaných pro požadované funkce elektrizační soustavy (kmítočet, napětí), způsoby jejich provozu, provádění údržby a oprav apod.

Vysoká spolehlivost provozu elektrizační soustavy je nutným předpokladem k zajištění plynulých dodávek elektrické energie pro potřeby průmyslu a obyvatelstva.

Spolehlivost dodávek elektrické energie je z hlediska elektrizační soustavy určována:

- a) strukturou zdrojů
- b) konfigurací sítí
- c) spolehlivostními charakteristikami zařízení včetně technických prostředků řízení
- d) velikostí zálohy zdrojů, sítí a zařízení

Hlavní spolehlivostní ukazatelé

Pravděpodobnost bezporuchového provozu objektu v časovém intervalu od 0 do t je pravděpodobnost, že v tomto časovém intervalu porucha objektu nenastane:

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (2.1)$$

Pravděpodobnost poruchy objektu je pravděpodobnost, že v daném časovém intervalu porucha nastane:

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t) \quad (2.2)$$

$R(t)$ je nerostoucí funkce času, $Q(t)$ je neklesající funkce času. Obě veličiny jsou kladná bezrozměrná čísla nejvýše rovná jedné. Zpravidla předpokládáme, že $R(0) = 1$, $R(\infty) = 0$.

Hustota pravděpodobnosti poruchy (hustota poruch) příslušná k distribuční funkci $Q(t)$ je dána vztahem:

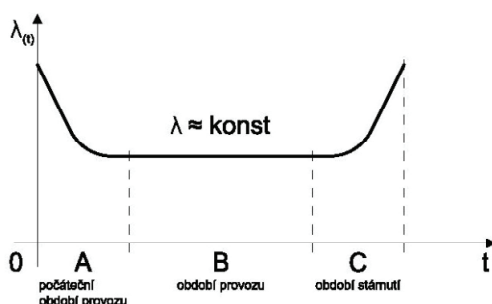
$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Nejčastěji se bezporuchovost neopravovaného prvku udává *intenzitou poruch* definovanou jako poměr hustoty pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobnosti bezporuchového provozu:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} \quad (2.4)$$

Velichiny $f(t)$ a $\lambda(t)$ mají rozměr (čas⁻¹), obvykle jsou v energetice v jednotkách (rok⁻¹). [1]

Průběh intenzity poruch může být vyjádřen pomocí různých zákonů rozdělení poruch (exponenciální, Rayleighovo, Weibullovo, Poissonovo, normální, logaritmicko-normální, gama apod.) odvozených z určitého pravděpodobnostního modelu. Průběh intenzity poruch je uveden na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Průběh intenzity poruch – „Vanová křivka“ [1]

3.2.1 Metody získávání vstupních údajů pro výpočet spolehlivosti

- *Apriorní spolehlivost* - vstupní údaje pro výpočet spolehlivosti jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo podobného zařízení, které pracuje v obdobných podmínkách
- *Empirická spolehlivost* - vstupní údaje jsou určeny „předem“. Ze znalostí možných stavů daného objektu se vyjádří pravděpodobnost bezporuchového chodu.

Pro intenzitu poruch vedení platí:

$$\lambda = \frac{N}{l \cdot 0,01 \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1}/100 \text{ km}) \quad (2.5)$$

Pro střední dobu poruchy platí:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N_p} \quad (\text{h}) \quad (2.6)$$

Z analýzy databáze je obvykle znám počet poruch za sledované období. Sledované období se obvykle volí podle konkrétních požadavků výpočtu spolehlivosti. K výpočtu intenzity poruch je nutno také znát počet prvků daného typu v dané oblasti, jejíž poruchovost byla sledována. To je další důležitý vstupní údaj pro výpočet intenzity poruch. Pro určování vstupních spolehlivostních parametrů je ovšem nutno předpokládat, že počty prvků jednotlivých typů se v síti nemění za sledované období. [1]

Pro použitou metodu spolehlivostních schémat jsou pro každý prvek následující vstupní spolehlivostní údaje:

- intenzita poruch λ_p (rok^{-1}),
- střední doba trvání poruchy τ_p (h),
- intenzita údržby λ_u (rok^{-1}),
- střední doba trvání údržby τ_u (h).

V případě zanedbání údržbového prostoje, lze pravděpodobnost bezporuchového chodu vyjádřit následovně:

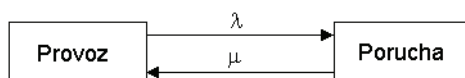
$$R = 1 - \frac{\lambda_p \cdot \tau_p}{8760} \quad (2.7)$$

3.2.2 Základní metody výpočtu spolehlivosti

Při určení metody spolehlivosti je nutno vycházet z toho, jaký systém je řešen, jaké jsou k dispozici vstupní hodnoty spolehlivosti a v jakém tvaru je považován výsledek výpočtu. Dále je důležité, chceme-li hodnoty ustálené spolehlivosti nebo hodnoty spolehlivosti závislé na čase.

Markovovy procesy

Markovovy modely jsou funkcí náhodných proměnných stavu soustavy a doby. Funkce mohou být spojité i diskrétní, jedná se tedy o 4 druhy procesů. Markovovy modely s diskrétními stavy a spojitým časem přechodu jsou Markovovy procesy. Vlastností tohoto procesu je, že pravděpodobnost přechodu z výchozího stavu do následujícího je závislá pouze na těchto dvou stavech a je nezávislá na všech stavech minulých, kterými již systém prošel. V oblasti techniky se pracuje s diskrétními stavy (provoz, porucha) a se spojitým časem přechodu z jednoho stavu do druhého.



Obr. 3.2: Základní schéma dvoustavového Markova procesu

Jedná se o objekt se dvěma stavy, proto platí:

$$P_2(t) = 1 - P_1(t) \quad (2.8)$$

Pro pravděpodobnosti jednotlivých stavů lze psát následující rovnice:

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}; \quad P_2(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (2.9)$$

Ustálené hodnoty pravděpodobnost jsou pak limitami odvozených vztahů (2.9):

$$P_1(\infty) = P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = k_p; \quad P_2(\infty) = P_2 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = k_v \quad (2.10)$$

V průběhu činnosti objektu se střídá čas provozu t_s a opravy τ . Celkový časový cyklus T :

$$T = t_s + \tau = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu} \quad (2.11)$$

Metoda spolehlivostních schémat

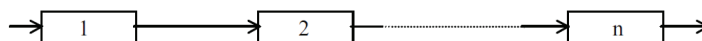
Základním principem metody spolehlivostních schémat je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům spolehlivostního schématu a následné zjednodušení spolehlivostního schématu až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné spolehlivostní parametry celého systému, který byl spolehlivostním schématem namodelován.

Na popisu metody spolehlivostních schémat je zcela patrné souvislost výpočtu spolehlivosti s teorií pravděpodobnosti. Základním pravidlem pro řešení spolehlivosti různých zapojení prvků je pravidlo o násobení pravděpodobností:

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B) \quad (2.12)$$

- *Sériový systém*

Tímto modelem se řídí spolehlivostní vlastnosti funkčních jednotek a systémů, u nichž porucha jediného prvku vede k poruše celku.



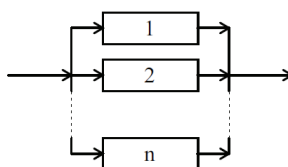
Obr. 3.3: Systém se sériovým zapojením n prvků

Pro pravděpodobnost bezporuchového chodu platí:

$$R_V = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.13)$$

- *Paralelní systém*

Porucha systému nastává teprve tehdy, když všechny prvky mají poruchu.



Obr. 3.4: Systém spojený z n prvků pracujících funkčně paralelně

Pro pravděpodobnost poruchy platí za předpokladu nezávislých prvků:

$$Q_V = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (2.14)$$

Pro výslednou hodnotu pravděpodobnosti bezporuchového chodu pak platí:

$$R_V = 1 - Q_V \quad (2.15)$$

Simulační metody výpočtu spolehlivosti

Předpokladem simulačních metod je znalost intenzity výpadků (intenzita poruch + intenzita údržby) a střední doby výpadku všech prvků vyšetřované soustavy. Simulací se rozumí numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely reálných systémů na počítačích.

Výhody simulační metody:

- studovaný systém může být příliš složitý pro použití analytických postupů,
- simulace umožňuje studium chování systémů v reálném, zrychleném či zpomaleném čase.
- simulací lze ověřit výsledky získané jinými nezávislými postupy,
- je možno modelovat odbočky typu „T“,
- je provedena výkonová bilance a u přetížených prvků je vždy simulován výpadek. [17]

3.2.3 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny

Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny [12]

a) Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{Sh}} \quad (\text{přerušení/rok/zákazníka}) \quad (2.16)$$

Průměrné souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j \sum_i (t_{ji} \cdot n_{jhi})}{N_{Sh}} \quad (\text{minut/rok/zákazníka}) \quad (2.17)$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{\sum_j (t_{ji} \cdot n_{jh})}{\sum_j n_{jh}} = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad (\text{minut/přerušení}) \quad (2.18)$$

b) Systémové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad (\text{přerušení/rok/zákazníka}) \quad (2.19)$$

Průměrné souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j \sum_i (t_{ji} \cdot n_{jhi})}{N_s} \quad (\text{minut/rok/zákazníka}) \quad (2.20)$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

$$CAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j (t_{ji} \cdot n_{jh})}{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j n_{jh}} = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (\text{minut/přerušení}) \quad (2.21)$$

Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu elektřiny [12]

Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce

$$t_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (\text{minut/rok/zákazníka}) \quad (2.22)$$

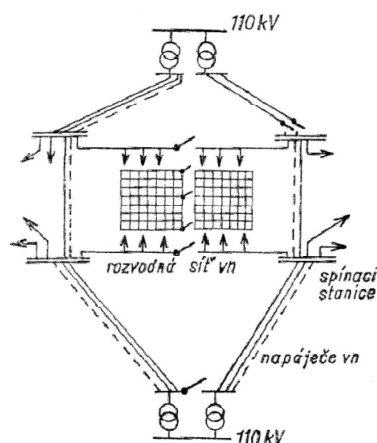
kde i je pořadové číslo přerušení přenosu elektřiny v hodnoceném roce.

Nedodaná elektrická energie v roce

$$W_{ned} = \sum_{i=1}^n (t_i \cdot P_{ned,i}) \quad (\text{kW} \cdot \text{min}) \quad (2.23)$$

4 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU KONKRÉTNÍ OBLASTI

Ve větších městech, v nichž se uplatní dvě nebo několik stanic 110kV/VN, vznikají složitější schémata, protože se chce zajistit zásobování i při poruše jednoho z transformátorů 110kV/VN a pro toto zajištění se vytváří vzájemné propojení stanic 110 kV vedeními VN. Stanice 110 kV se provozují samostatně, každá má tedy svou samostatnou oblast a to z důvodu abychom se vyhnuli vyrovnávací proudům mezi stanicemi 110 kV, ať např. při nesoučasné regulaci napětí nebo nestejnému napětí na straně 110 kV, nestejnému u_k větším zkratovým proudům apod. Vytváříme tedy schémata s možností vzájemného propojení stanic, avšak provozujeme je odděleně. [19]



Obr. 4.1: Napájení města s použitím spínacích stanic [19]

Na základě elektrických schémat zadané oblasti byly k zálohování vybrány tři elektrické stanice zásobující Olomouckou aglomeraci:

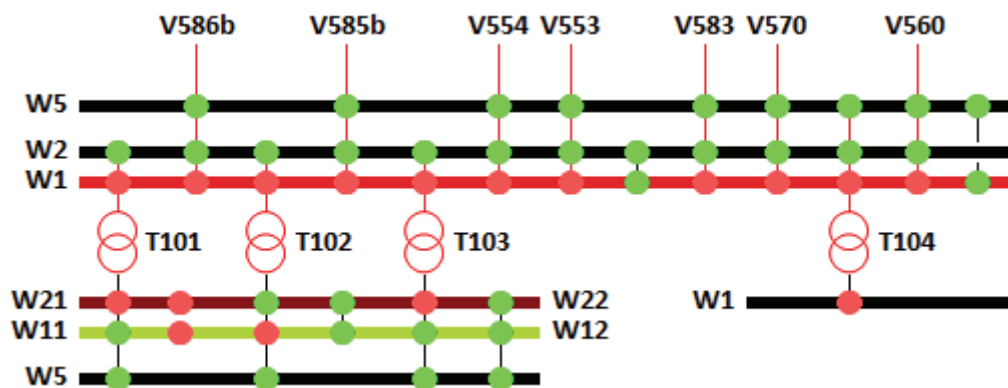
- Rozvodna Olomouc Sever 110/22 kV
- Rozvodna Hodolany 110/22 kV
- Rozvodna Olomouc Holice 110/22 kV

Elektrické stanice 110kV/VN v Olomoucké aglomeraci jsou napájeny z rozvodny Prosenice 400/220/110 kV transformátory T201 a T202. K zálohování budou také využity Rozvodny Červenka a Šternberk, které jsou napájeny z rozvodny Krasíkov 400/110 kV transformátorem T402. Navíc jak do sítě 110 kV, tak i do sítě VN, přispívají zdroje elektrické energie, jako například teplárny, fotovoltaické elektrárny, závodní elektrárny apod.

4.1 Rozvodna Hodolany

Rozvodna HDLN je elektrickou stanicí 110/22 kV. Jedná se o největší a jeden z nejvýznamnějších uzlů v Olomoucké aglomeraci.

Systém přípojníc 110 kV je proveden se dvěma přípojnícemi hlavními (W1, W2) a jednou přípojnící pomocnou (W5). Napětí je ale přivedeno pouze na přípojnice W1. Rozvodna je napájena paralelně vedeními V553 a 554 z rozvodny Prosenice a vedením V583 z rozvodny Dluhonice. Z HDLN jsou napájeny paralelními vedeními V585 a V586 rozvodny OLCS (V585, V586) a CERV (V585, V586). Dále je rozvodna HDLN propojena s rozvodnou Dluhonice vedeními V583 a V570, které je zaústěno do rozvodny OLCH a je propojeno s vedením V584 spínačem přípojníc, které pokračuje do rozvodny Dluhonice. Vedení 560 slouží k napájení rozvodny Lutín.



Obr. 4.2: Schéma rozvodny Hodolany

Transformace napětí z hladiny 110 na 22 kV je prováděno za pomoci dvou transformátorů T102 a T103. Je zde ještě nainstalován transformátor T101, který slouží jako rezerva. Transformátor T104 slouží k transformaci 22/110 kV a k dodávce výkonu z Teplárny Olomouc do rozvodné sítě 110 kV.

Na napěťové hladině 22 kV je opět systém se dvěma přípojnícemi hlavními (W11-W12 a W21-W22) s jednou přípojnící pomocnou (W5). Transformátor T103 dodává výkon na přípojnici W22, která je spojena podélně spínačem přípojníc s přípojnící W21. Z těchto přípojníc je za pomoci kabelových vývodů zásobována značná část města Olomouce. Transformátor T102 je připojen na přípojnici W12. Z přípojníc W11 a W12, které jsou podélně propojeny spínačem přípojníc, je venkovním a kabelovým vedením zásobováno převážně okolí Olomouce.

Tab. 4.1: Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Hodolany

Transformátor	Jmenovité hodnoty						Současný stav			
	Spojení vinutí	S_n (MVA)	U_{n1} (kV)	U_{n2} (kV)	I_{n1} (A)	I_{n2} (A)	I_2 (A)	P (MW)	Q (Mvar)	U_2 (kV)
T101	Yy0/d	50	110	23	262	1255	0,0	0,0	0,0	23,1
T102	YNyn0/d1	50	110	23	262	1255	485,7	19,0	0,3	22,6
T103	YNyn0/d1	50	110	23	262	1255	559,7	21,2	1,2	22,5
T104	YNyn0(d)	50	110	23	262	1255	551,0	-20,1	-3,7	22,1

Tab. 4.2: Nastavení ochran a zatížení vývodů v rozvodně Hodolany

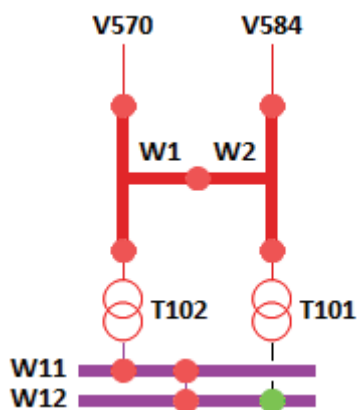
Vývod	Nadproudová ochrana			Současný stav		
	Typ	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$ (s)	Přípojnice	Stav vývodu	I (A)
10	7SJ600	300	1,2	W12	zapnut	123,9
17	7SJ600	270	1,2	W12	zapnut	105,5
305	7SJ600	360	1,2	W12	zapnut	103,4
41	7SJ600	300	1,2	W12	zapnut	77,0
302	7SJ600	330	1,2		vypnut	0,0
301	7SJ600	330	1,2	W12	zapnut	46,5
01	7SJ600	270	1,2	W12	zapnut	30,5
2073	7SJ621	270	1,8	W11	zapnut	0,0
316	7SJ621	360	1,8	W11	vypnut	0,0
313	7SJ600	300	1,2	W22	zapnut	0,0
312	7SJ600	300	1,2	W22	zapnut	76,1
924	7SJ600	360	0,6	W22	zapnut	0,0
923	7SJ600	360	0,6	W22	zapnut	35,0
925	7SJ600	360	0,6	W22	zapnut	75,5
930	7SJ600	360	0,6	W22	zapnut	0,0
40	7SJ600	300	1	W22	zapnut	46,3
928	7SJ600	360	0,6	W22	zapnut	115,9
967	7SJ600	400	1,4	W22	zapnut	56,0
968	7SJ600	400	1,4	W22	zapnut	37,0
19	7SJ600	360	1,2	W22	zapnut	83,0
349	7SJ600	270	1,8	W22	zapnut	15,1

4.2 Rozvodna Olomouc Holice

Rozvodna OLCH je poměrně malá elektrická stanice 110/22 kV, čemuž odpovídá i systém zapojení přípojníc, který je v „H“ provedení. Napájení rozvodny je provedeno vedením V570 z rozvodny HDLN na přípojnici W1 a vedením V584 z rozvodny Dluhonice na přípojnici W2. Výhodou tohoto provedení je, že vedení VVN zůstane v provozu i při výpadku obou transformátorů.

Transformace napětí 110/22 kV je provedena transformátorem T102, který je připojen na přípojnici W11. Je zde ještě nainstalován transformátor T101, který při současné konfiguraci sítě slouží pouze jako rezerva.

Uspořádání přípojníc na straně 22 kV je provedeno jako dvojitý systém přípojníc (W11 a W12). Obě přípojnice jsou spolu propojeny příčným spínačem přípojníc. Z přípojníc je napájena spínací stanice Slavonín a další kabelové a venkovní rozvody v městské aglomeraci.



Obr. 4.3: Schéma rozvodny Olomouc Holice

Tab. 4.3: Nastavení ochran a zatížení vývodů v rozvodně Olomouc Holice

Vývod	Nadproudová ochrana			Současný stav		
	Typ	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$ (s)	Přípojnice	Stav vývodu	I (A)
300	7SJ621	340	1,4	W11	Zapnut	116,3
330	7SJ621	340	1,4	W11	Zapnut	75,8
943	7SJ621	360	0,6	W11	Zapnut	72,5
366	7SJ621	360	1,2	W11	Zapnut	92,9
316	7SJ621	360	1,6	W11	Zapnut	0,0
298	7SJ621	340	1,4	W12	Zapnut	97,1
2005	7SJ621	360	0,6	W12	Vypnut	0,0
349	7SJ621	360	1,6	W12	Vypnut	0,0

Tab. 4.4: Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Olomouc Holice

Transformátor	Jmenovité hodnoty						Současný stav			
	Spojení vinutí	S_n (MVA)	U_{n1} (kV)	U_{n2} (kV)	I_{n1} (A)	I_{n2} (A)	I_2 (A)	P (MW)	Q (Mvar)	U_2 (kV)
T101	YNyn0/d	40	110	23	210	1004	0,0	0,0	0,0	22,7
T102	YNyn0/d0	40	110	23	210	1005	456,6	17,8	-0,4	22,7

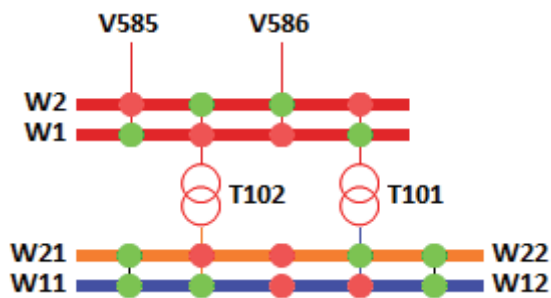
4.3 Rozvodna Olomouc Sever

Rozvodna OLCS je elektrická transformační stanice 110/22 kV. Na hladině 110 kV je připojena pomocí dvojitého systému přípojníc (W1 a W2). Na přípojnici W1 je přiveden výkon vedením V585c a na přípojnici W2 vedením V586c z rozvodny HDLN (V585, V585). Potřebný výkon je možné také dodat z rozvodny CERV pomocí vedení V585 a V586.

Rozvodná část 22 kV je realizována systémem dvojitých přípojníc (W11-W12 a W21-W22). Z přípojníc W11 a W12, které jsou spolu spojeny podélným spínačem přípojníc, je napájena spínací

stanice Kubičkova a část kabelového městského rozvodu. Přípojnice W21 a W22 jsou spolu rovněž propojeny podélným dělením a napájí jak spínací stanici Neředín, tak i část kabelových a venkovních rozvodů.

Transformace napětí ze 110 na 22 kV je realizována oběma instalovanými transformátory T101 a T102. Transformátor T101 odebírá výkon z přípojnice W1 (110 kV) a napájí přípojnici W12 (VN). Transformátor T102 napájí přípojnici W21 z přípojnice W2.



Obr. 4.4: Schéma rozvodny Olomouc Sever

Tab. 4.5: Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Olomouc Sever

Transformátor	Jmenovité hodnoty						Současný stav			
	Spojení vinutí	S_n (MVA)	U_{n1} (kV)	U_{n2} (kV)	I_{n1} (A)	I_{n2} (A)	I_2 (A)	P (MW)	Q (Mvar)	U_2 (kV)
T101	YNyn0/d1	50	110	23	262	1255	366,0	14,3	-1,0	22,6
T102	YNyn0/d1	50	110	23	262	1255	724,1	28,2	1,4	22,5

Tab. 4.6: Nastavení ochrany a zatížení vývodů v rozvodně Olomouc Sever

Vývod	Nadproudová ochrana			Současný stav		
	Typ	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$ (s)	Přípojnice	Stav vývodu	I (A)
329	P130	360	1,2	W11	zapnut	63,8
934	P130	360	1,2	W11	zapnut	3,4
935	P130	420	1,5	W11	zapnut	158,8
936	P130	420	1,5	W11	zapnut	157,0
16	P130	360	1,2	W22	zapnut	69,0
2033	P130	440	1,7	W21	zapnut	220,4
2035	P130	440	1,7	W22	zapnut	4,4
2034	P130	440	1,7	W22	zapnut	213,8
931	P130	400	1,7	W21	zapnut	56,7
932	P130	400	1,7	W21	zapnut	19,3
933	P130	400	1,7	W22	zapnut	0,0
326	P130	400	1,3	W22	zapnut	1,8
327	P130	400	1,3	W22	zapnut	71,6
328	P130	400	1,3	W22	zapnut	69,1

5 NÁVRH NA ZÁLOHOVÁNÍ VYBRANÝCH UZLŮ SÍTĚ

Hlavním úkolem této práce je prověřit zálohovatelnost určených rozvodů v Olomoucké aglomeraci. Je přitom nutné brát v úvahu, že elektrizační soustava, v tomto případě tedy pouze distribuční síť, je dynamický systém, v němž se neustále mění zatížení jednotlivých vývodů a tedy i transformátorů. Dochází v ní k provozním manipulacím, případně manipulacím zapříčiněných vznikem poruchy v síti apod.

Při návrhu jednotlivých variant se vycházelo z měření zatížení v zimním období data 16.1.2013 provedené v čase 17:00, kdy podle diagramu denního zatížení dosahuje zatížení nejvyšších hodnot. Při návrhu se vycházelo z elektrických schémat sítí. Přitom ale nutným předpokladem bylo, že nedošlo ke změnám výkonových poměrů v síti vlivem poruch a následných manipulací.

5.1 Výpadek napájecího transformátoru v rozvodně 110kV/VN

Při výpadku jednoho transformátoru 110/22 kV se musí výkon rychle nahradit z druhého transformátoru a částečně i ze sousedních oblastí po kabelech VN. Čím větší je rezerva v transformátoru, tím méně je zapotřebí rezervních kabelů VN. Vzhledem k nerovnoměrnému zatížení, nesoudobosti apod. se volí rezerva větší (asi 35 až 70 %). [19]

Výpadek transformátoru 103 v rozvodně HDLN

V rozvodně HDLN bude vyšetřován výpadek transformátoru T103. První variantou je dodat potřebný výkon transformátorem T102. To je možné realizovat sepnutím příčného spínače přípojníc a tím dodat výkon na přípojnice W21 a W22.

Další možností jak zálohovat výpadek transformátoru T103 je zapojením transformátoru T101 na přípojnici W21, který by dodával do sítě celkový výkon transformátoru T103.

Obdobně jako u obou variant výpadku transformátoru T103, by se dalo postupovat i při výpadku transformátoru T102. Ovšem s tím rozdílem, že u varianty 2 se transformátor T101 připojí na přípojnici W11.

Výpadek transformátoru 102 v rozvodně OLCH

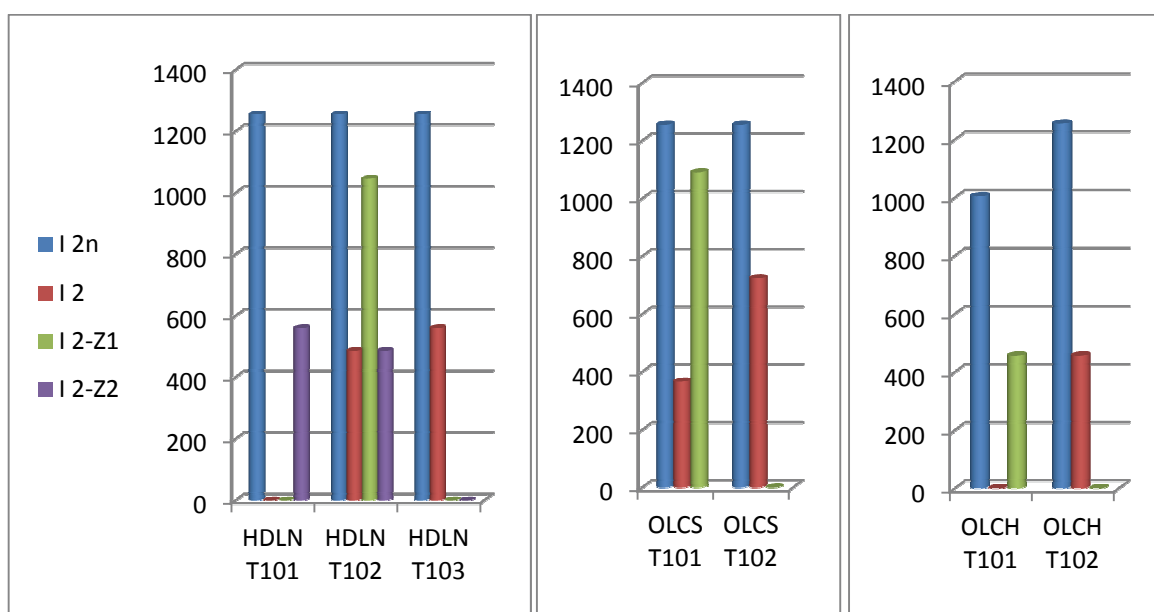
V případě výpadku transformátoru T102 v rozvodně OLCH je možné potřebný výkon dodat do sítě připojením transformátoru T101.

Výpadek transformátoru 102 v rozvodně OLCS

Rozvodna OLCS má oba transformátory připojeny do sítě. Je tedy nutné, aby v případě výpadku transformátoru T102 dodal transformátor T101 veškerý výkon obou transformátorů, což lze realizovat zapnutím příčného spínače přípojnic. Obdobně lze postupovat i při výpadku transformátoru T101.

Tab. 5.1: Zatížení transformátorů v rozvodně při výpadku jednoho transformátoru

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z1}		I_{2-z2}	
				(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)
HDLN	T101	50	1255	0	0,0	0	0,0	560	44,6
	T102	50	1255	486	38,7	1045	83,3	486	38,7
	T103	50	1255	560	44,6	0	0,0	0	0,0
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	1090	86,9		
	T102	50	1255	724	57,7	0	0,0		
OLCH	T101	40	1004	0	0,0	457	45,4		
	T102	40	1005	457	36,4	0	0,0		



Obr. 5.1: Rozdělení zatížení v rozvodnách při výpadku jednoho napájecího transformátoru

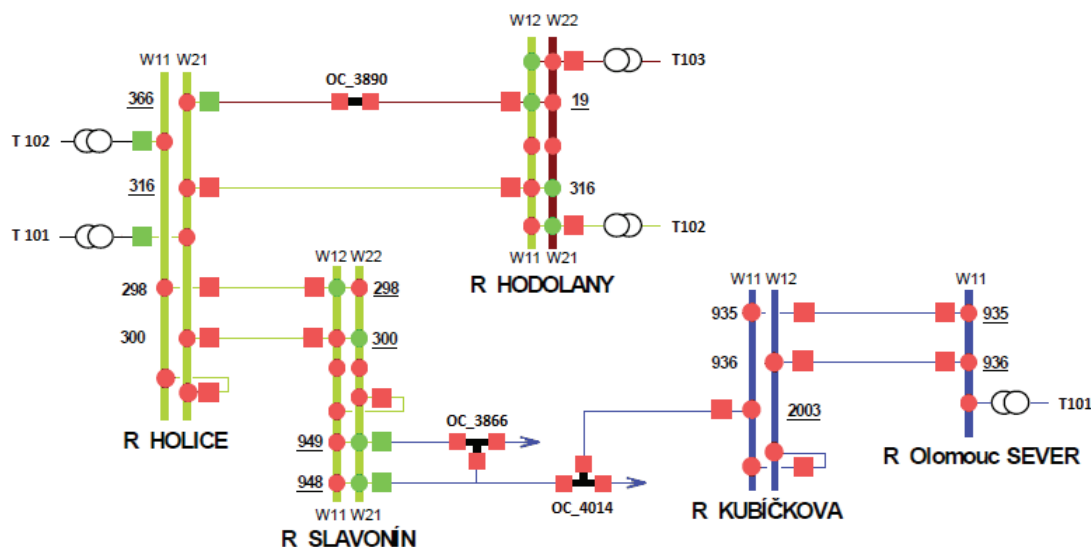
5.2 Výpadek napájení rozvodny VVN/VN

5.2.1 Výpadek napájení rozvodny OLCH

Vzhledem k tomu, že rozvodna OLCH je nejmenší rozvodnou v Olomoucké aglomeraci, je poměrně snadné její výkon dodat pomocí zbylých dvou rozvodn v zadané oblasti. K zálohování této rozvodny bude využito transformátorů T102, T103 v rozvodně HDLN a T101, T102 v rozvodně OLCS. Přitom budou uvažovány různé kombinace napájení z těchto transformátorů a ne vždy bude využito všech čtyř transformátorů.

5.2.1.1 1. varianta zálohování rozvodny OLCH

V první navržené variantě je rozvodna zálohována z rozvodny HDLN transformátorem T102, přičemž zatížení vybraných vývodů budou přebrány z transformátorů 103 v rozvodně HDLN a T101 v rozvodně OLCS.



Obr. 5.2: Schematické znázornění 1. varianty zálohování rozvodny OLCH

Celkové schéma provedeného zálohování i s hodnotami zatížení jednotlivých vývodů je zakresleno v příloze 4. Obdobné schéma zálohované sítě bude provedeno i u všech dalších variant zálohování. K zálohování rozvodny OLCH budou tedy využity následující manipulace:

1. Vypnout vývod 949 (91 A) a 948 (64 A) v rozvodně Slavonín. Zapnout vývod v DTS OC_3866 (→ 948) a v OC_4014 (→ 948). Zatížení odpojených vedení bude dodáno z rozvodny Kubičkova po vedení 2003, která je napájena transformátorem T101 v rozvodně OLCS pomocí dvou paralelních vedení 935 a 936.

2. Vypnout vývod 366 (93 A) v rozvodně OLCH. Zapnout vývod v DTS OC_3890 (→ 366). Zatížení odpojeného vedení je dodáno transformátorem T103 z rozvodny HDLN po vedení 19.
3. Zapnout vývod 316 v rozvodně HDLN. Zatížení rozvodny OLCH je po tomto vedení dodáno transformátorem T102 z rozvodny HDLN.

Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

Při výpočtech zatížení je nutné si pro přehlednost uvést smysl indexování, které bude použito ve všech výpočtech. Proudové zatížení bude značeno ve tvaru I_{x-y} , kde index x označuje vývod nebo transformátor a y rozvodnu ve které je výpočet uvažován:

H ... Hodolany	C ... Červenka	S ... Slavonín
OS ... Olomouc Sever	St ... Šternberk	K ... Kubíčková
OH ... Olomouc Holice	T ... Teplárna Olomouc	N ... Neředín

Zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS se zvýší o zatížení vedení 948 a 949

$$I_{T101-OS} = I_{T101-OS} + I_{948-S} + I_{949-S} = 366 + 64 + 91 = 521 \text{ A}$$

O zatížení vedení 948 a 949 se zvýší i zatížení vedení 935 a 936 v rozvodně OLCS a to v poměru jejich impedancí:

$$\begin{aligned} I_{935-OS} &= (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = \\ &= (159 + 157 + 64 + 91) \cdot \frac{159}{159 + 157} = 237 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{936-OS} &= (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{936-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = \\ &= (159 + 157 + 64 + 91) \cdot \frac{157}{159 + 157} = 234 \text{ A} \end{aligned}$$

Obdobně se přepočítá i zatížení vedení 948 a 949 v rozvodně Kubíčková

$$\begin{aligned} I_{935-K} &= (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{935-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = \\ &= (163 + 160 + 64 + 91) \cdot \frac{163}{163 + 160} = 241 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{936-K} &= (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{936-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = \\ &= (163 + 160 + 64 + 91) \cdot \frac{160}{163 + 160} = 237 \text{ A} \end{aligned}$$

Zatížení vedení 2003 v rozvodně Kubičkova se zvýší o zatížení odpojených vedení 948 a 949

$$I_{2003-K} = I_{2003-K} + I_{948-S} + I_{949-S} = 69 + 64 + 91 = 224 \text{ A}$$

Zatížení transformátoru T103 v rozvodně HDLN se zvýší o zatížení vedení 366

$$I_{T103-H} = I_{T103-H} + I_{366-OH} = 560 + 93 = 653 \text{ A}$$

Vedení 366 bude napájeno z rozvodny HDLN vedením 19

$$I_{19-H} = I_{19-H} + I_{366-OH} = 83 + 93 = 176 \text{ A}$$

Transformátor T102 v rozvodně HDLN převezme zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCH, ovšem snížené o odpojená vedení 366, 948 a 949

$$\begin{aligned} I_{T102-H} &= I_{T102-H} + I_{T102-OH} - (I_{366-OH} + I_{948-S} + I_{949-S}) = \\ &= 486 + 457 - (93 + 64 + 91) = 695 \text{ A} \end{aligned}$$

Rozvodna OLCH bude napájena vedením 316, jehož zatížení tedy bude

$$\begin{aligned} I_{316-H} &= I_{316-OH} = I_{T102-OH} - (I_{366-OH} + I_{948-S} + I_{949-S}) = 457 - (93 + 64 + 91) = \\ &= 209 \text{ A} \end{aligned}$$

Vedení 298 a 300 v rozvodně OLCH, pomocí kterých je napájena rozvodna Slavonín, sníží svoje zatížení o odpojená vedení 948 a 949

$$\begin{aligned} I_{298-OH} &= (I_{298-OH} + I_{300-OH} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{298-OH}}{I_{298-OH} + I_{300-OH}} = \\ &= (97 + 116 - (64 + 91)) \cdot \frac{97}{97 + 116} = 27 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{300-OH} &= (I_{298-OH} + I_{300-OH} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{300-OH}}{I_{298-OH} + I_{300-OH}} = \\ &= (97 + 116 - (64 + 91)) \cdot \frac{116}{97 + 116} = 32 \text{ A} \end{aligned}$$

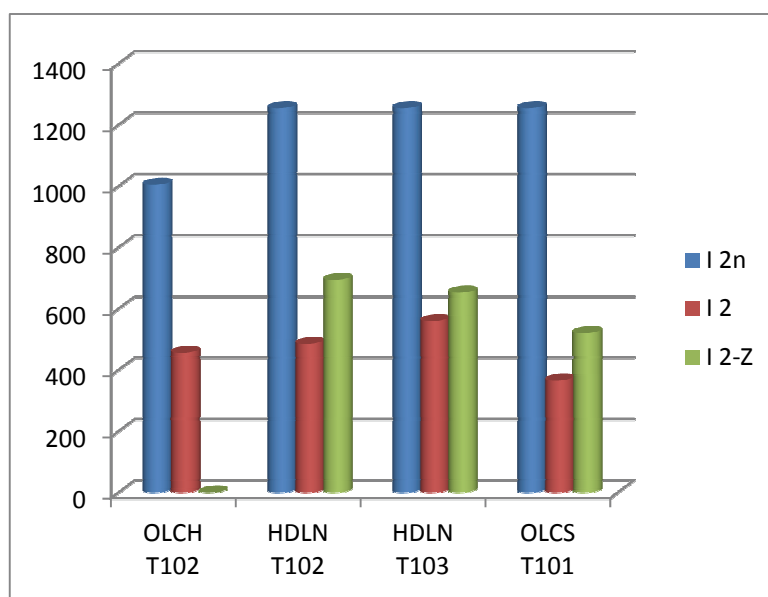
Obdobný výpočet se provede i pro vedení 298 a 300 v rozvodně Slavonín

$$\begin{aligned} I_{298-S} &= (I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{298-S}}{I_{298-S} + I_{300-S}} = \\ &= (118 + 116 - (64 + 91)) \cdot \frac{118}{118 + 116} = 40 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{300-S} &= (I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{300-S}}{I_{298-S} + I_{300-S}} = \\ &= (118 + 116 - (64 + 91)) \cdot \frac{116}{118 + 116} = 39 \text{ A} \end{aligned}$$

Tab. 5.2: Srovnání zatížení transformátorů při 1. variantě zálohování rozvodny OLCH

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
OLCH	T102	40	1005	457	45,4	0	0,0
HDLN	T102	50	1255	486	38,7	695	55,3
	T103	50	1255	560	44,6	653	52,0
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	521	41,5



Obr. 5.3: Grafické znázornění zatížení transformátorů 1. varianty zálohování rozvodny OLCH

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Úbytky napětí budou vypočteny u všech variant a to v jednotlivých rozvodnách, které byly využity k zálohování. Při výpočtu úbytků bude využito již spočtených proudů vývodů, u kterých tedy nebude uvažována jejich závislost na napětí. Tyto vypočtené proudy budou pro přehlednost označeny čárkou v horním indexu. Jako referenční hodnoty napětí budou uvažovány hodnoty naměřené v rozvodnách při současném napájení rozveden.

Napětí v rozvodně OLCH je dáno rozdílem napětí na přípojnici W11 v rozvodně HDLN a úbytkem napětí na vedení 316

$$\begin{aligned}\Delta U_{316} &= \sqrt{3} \cdot l_{316} \cdot (R_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \cos \varphi + X_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot (0,774 \cdot 209 \cdot 0,95 + 1,048 \cdot 209 \cdot 0,31) = 0,38 \text{ kV}\end{aligned}$$

$$U_{OH} = U_H - \Delta U_{316} = 22,57 - 0,38 = 22,19 \text{ kV}$$

Rozvodna Slavonín je napájena ze dvou vedení 298 a 300. Z výpočtu proudových momentu je zjevné, že v této rozvodně je nejvyšší úbytek napětí. Je tedy možné vedení rozdělit a počítat úbytek napětí pro vedení napájené z jedné strany

$$\begin{aligned}\Delta U_{300} &= \sqrt{3} \cdot l_{300} \cdot (R_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \cos \varphi + X_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot (1,308 \cdot 32 \cdot 0,95 + 2,214 \cdot 32 \cdot 0,31) = 0,11 \text{ kV}\end{aligned}$$

$$U_S = U_H - (\Delta U_{316} + \Delta U_{300}) = 22,57 - (0,38 + 0,11) = 22,08 \text{ kV}$$

V případě napájení rozvodny Kubíčková, u které se zvýšilo zatížení o připojená vedení 948 a 949, se úbytek napětí vypočte obdobně jako v předchozím případě

$$\begin{aligned}\Delta U_{935} &= \sqrt{3} \cdot l_{935} \cdot (R_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \cos \varphi + X_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot (0,189 \cdot 237 \cdot 0,95 + 0,208 \cdot 237 \cdot 0,31) = 0,1 \text{ kV}\end{aligned}$$

$$U_K = U_{OS} - \Delta U_{935} = 22,65 - 0,1 = 22,55 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Při výpočtu ztrát nebudou uvažovány celkové ztráty v síti. Určeny budou pouze ztráty vzniklé z důsledku zvýšeného, případně sníženého, zatížení na jednotlivých vedeních využitých k záložnímu napájení. Při určení ztrát bude, obdobně jako při výpočtu úbytků napětí, počítáno s již vypočtenými hodnotami zatížení vedení, které budou opět označeny čárkou v horním indexu.

Ztráty na vedení 19 se zvýší o připojené vedení 366 podle vztahu

$$\Delta P_{19-H} = 3 \cdot R_{19} \cdot l_{19} \cdot (I'_{19-H} - I_{19-H})^2 = 3 \cdot 0,717 \cdot (176 - 83)^2 = 18,57 \text{ kW}$$

V případě napájení rozvodny OLCH vedením 316, budou výkonové ztráty úměrné nedodanému proudovému zatížení této rozvodny, sníženému o odpojená vedení 948 a 949 z rozvodny Slavonín

$$\Delta P_{316-H} = 3 \cdot R_{316} \cdot l_{316} \cdot I'_{316-H}{}^2 = 3 \cdot 0,774 \cdot 209^2 = 101,43 \text{ kW}$$

Obdobně se vypočtou i ztráty na vedeních 298 a 300, které slouží k napájení rozvodny Slavonín. Ztráty na vedeních se ovšem sníží, jelikož část zatížení v rozvodně Slavonín je odpojena

$$\Delta P_{298-OH} = 3 \cdot R_{298} \cdot l_{298} \cdot (I'_{298-OH} - I_{298-OH})^2 = 3 \cdot 1,283 \cdot (40 - 97)^2 = 19,09 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{300-OH} = 3 \cdot R_{300} \cdot l_{300} \cdot (I'_{300-OH} - I_{300-OH})^2 = 3 \cdot 1,308 \cdot (32 - 116)^2 = 27,95 \text{ kW}$$

U vedení 935 a 936 v rozvodně OLCS a u vedení 2003 v rozvodně Kubíčková se zvýší ztráty o přepojená vedení 948 a 949

$$\Delta P_{935-OS} = 3 \cdot R_{935} \cdot l_{935} \cdot (I'_{935-OS} - I_{935-OS})^2 = 3 \cdot 0,189 \cdot (237 - 159)^2 = 77,9 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{936-OS} = 3 \cdot R_{936} \cdot l_{936} \cdot (I'_{936-OS} - I_{936-OS})^2 = 3 \cdot 0,189 \cdot (234 - 157)^2 = 77 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2003-K} = 3 \cdot R_{2003} \cdot l_{2003} \cdot (I'_{2003-K} - I_{2003-K})^2 = 3 \cdot 0,499 \cdot (224 - 69)^2 = 35,89 \text{ kW}$$

Celkové ztráty, o které se zvýší ztráty v síti, se rovnají součtu všech jednotlivých vypočtených ztrát. V případě snížení ztrát na některém z vedení je však nutné uvažovat se záporným znaménkem

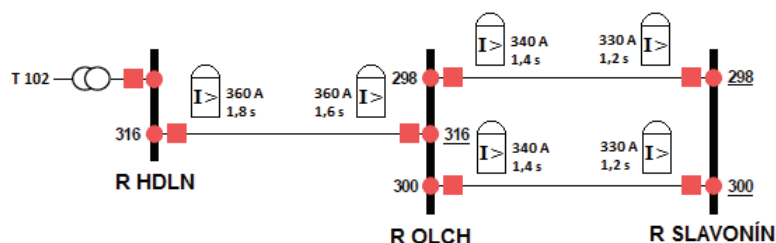
$$\begin{aligned} \Delta P_{OLCH-var.1} &= \sum \Delta P_i = \Delta P_{19-H} + \Delta P_{316-H} - \Delta P_{298-OH} - \Delta P_{300-OH} + \Delta P_{935-OS} + \\ &\quad + \Delta P_{936-OS} + \Delta P_{2003-K} = 18,57 + 101,43 - 19,09 - 27,95 + 77,9 + 77 = \\ &= 115,54 \text{ kW} \end{aligned}$$

Selektivita ochran

Selektivnost značí, že ochrana musí vypínat pouze ten prvek soustavy, na němž vznikla porucha. Smysl selektivity je v tom, že je vypínán co nejmenší úsek soustavy postižené poruchou. Selektivity se dosahuje:

- časovým odstupňováním působení ochran,
- odstupňováním úrovně nastavené veličiny,
- porovnáváním vybraných veličin z více míst chráněného objektu. [20]

V této variantě zálohování rozvodny OLCH je dodržena časová i proudová selektivita ochran, jak je možné vidět ve schématu (obr. 5.4).



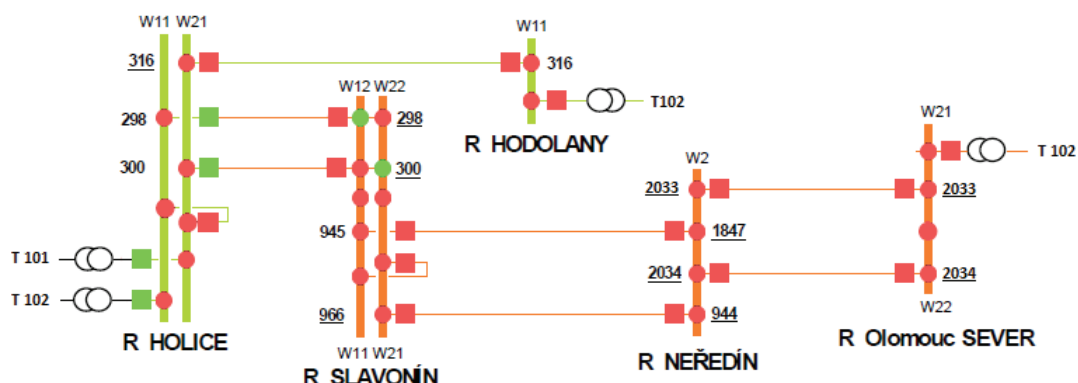
Obr. 5.4: Selektivita ochran při zálohování rozvodny OLCH a Slavonín

5.2.1.2 2. varianta zálohování rozvodny OLCH

V této variantě je rozvodna Slavonín odpojena od rozvodny OLCH a její napájení zajistí transformátor T102 v rozvodně OLCS pomocí spínací stanice Neředín. Zbylé zatížení rozvodny OLCH je dodáno z rozvodny HDLN transformátorem T102.K dosažení této varianty bylo využito následujících manipulací v síti a v rozvodnách:

1. Vypnout vývody 298 a 300 v rozvodně OLCH. Zapnout vývody 945 a 966 v rozvodně Slavonín. Zatížení rozvodny Slavonín je dodáno z rozvodny Neředín po vedeních 1847 (945) a 944 (966), která je napájena z rozvodny OLCS transformátorem T102 po vedeních 2033 a 2034.

2. Zapnout vývod 316 v rozvodně HDLN. Zatížení rozvodny OLCCH je dodáno transformátorem T102 z rozvodny HDLN po vedení 316.



Obr. 5.5: Schematické znázornění 2. varianty zálohování rozvodny OLCCH

Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

Zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCS se zvýší o zatížení rozvodny Slavonín

$$I_{T102-OS} = I_{T102-OS} + I_{298-S} + I_{300-S} = 958 \text{ A}$$

Vedení 2033 a 2034 v rozvodně OLCS zvýší také zatížení a to v poměru jejich impedancí

$$I_{2033-OS} = (I_{2033-OS} + I_{2034-OS} + I_{298-S} + I_{300-S}) \cdot \frac{I_{2033-OS}}{I_{2033-OS} + I_{2034-OS}} = 340 \text{ A}$$

$$I_{2034-OS} = (I_{2033-OS} + I_{2034-OS} + I_{298-S} + I_{300-S}) \cdot \frac{I_{2034-OS}}{I_{2033-OS} + I_{2034-OS}} = 328 \text{ A}$$

Obdobně se přepočítá i zatížení vedení 2033 a 2034 v rozvodně Neředín

$$I_{2033-N} = (I_{2033-N} + I_{2034-N} + I_{298-S} + I_{300-S}) \cdot \frac{I_{2033-N}}{I_{2033-N} + I_{2034-N}} = 333 \text{ A}$$

$$I_{2034-N} = (I_{2033-N} + I_{2034-N} + I_{298-S} + I_{300-S}) \cdot \frac{I_{2034-N}}{I_{2033-N} + I_{2034-N}} = 331 \text{ A}$$

Velikost zatížení vedení 1847 a 944 v rozvodně Neředín lze vypočítat za předpokladu stejných délek vedení ($l_{1847-N} \leftrightarrow l_{945-S} \doteq l_{944-N} \leftrightarrow l_{966-S}$) z rovnosti proudových momentů a to v poměru těchto délek

$$I_{1847-N} = \frac{I_{944-N} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S}) + 3 \cdot I_{1847-N}}{4} = 213 \text{ A}$$

$$I_{944-N} = \frac{I_{1847-N} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S}) + 3 \cdot I_{944-N}}{4} = 223 \text{ A}$$

Zatížení přívodů 945 a 966, kterými je napájena rozvodna Slavonín, se určí odečtením od vypočteného zatížení vedení 1847 a 944 původní odběr těchto vedení

$$I_{945-N} = \frac{I_{944-N} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S}) - I_{1847-N}}{4} = 45 \text{ A}$$

$$I_{966-N} = \frac{I_{1847-N} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S}) - I_{944-N}}{4} = 35 \text{ A}$$

Transformátor T102 v rozvodně HDLN převezme zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCH

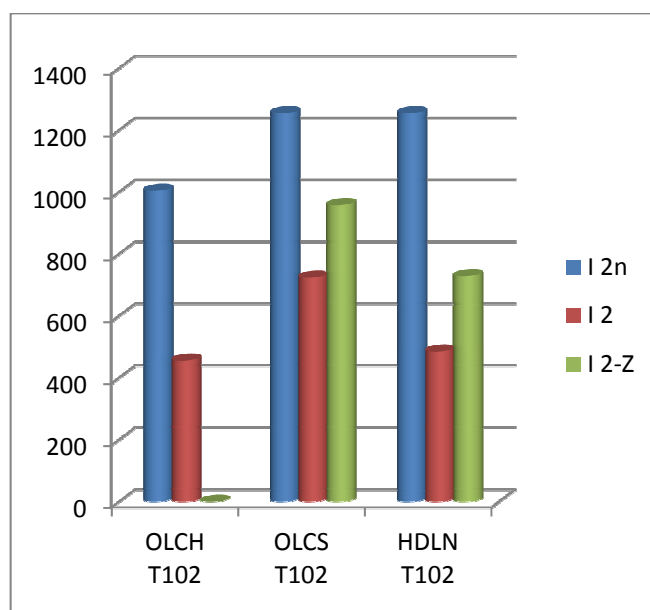
$$I_{T102-H} = I_{T102-H} + I_{T102-OH} - (I_{298-OH} + I_{300-OH}) = 729 \text{ A}$$

Rozvodna OLCH bude napájena vedením 316, jehož zatížení tedy bude

$$I_{316-H} = I_{316-OH} = I_{T102-OH} - (I_{298-OH} + I_{300-OH}) = 243 \text{ A}$$

Tab. 5.3: Srovnání zatížení transformátorů při 2. variantě zálohování rozvodny OLCH

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
OLCH	T102	40	1005	457	45,4	0	0,0
OLCS	T102	50	1255	724	57,7	958	76,4
HDLN	T102	50	1255	486	38,7	729	58,1



Obr. 5.6: Grafické znázornění zatížení transformátorů 2. varianty zálohování rozvodny OLCH

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Velikost napětí v rozvodně OLCH se vypočte z napětí na přípojnici W11 v rozvodně HDLN. Bude však sníženo o úbytek napětí na vedení 366, po kterém je rozvodna OLCH napájena

$$\Delta U_{316} = \sqrt{3} \cdot l_{316} \cdot (R_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \cos \varphi + X_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \sin \varphi) = 0,45 \text{ kV}$$

$$U_{OH} = U_H - \Delta U_{316} = 22,13 \text{ kV}$$

V rozvodně Neředín dojde ke snížení napětí, jelikož z ní bude napájena rozvodna Slavonín a dojde tedy ke zvýšení úbytků napětí v napájecích vedeních 2033 a 2034. Úbytek zde lze počítat z vypočtených zatížení vedení, jako napájení z jedné strany

$$\Delta U_{2033} = \sqrt{3} \cdot l_{2033} \cdot (R_{2033} \cdot I'_{2033-OS} \cdot \cos \varphi + X_{2033} \cdot I'_{2033-OS} \cdot \sin \varphi) = 0,03 \text{ kV}$$

$$U_N = U_{OS} - \Delta U_{2033} = 22,51 \text{ kV}$$

Rozvodna Slavonín, napájená z rozvodny Neředín po vedeních 1847 – 945 a 944 – 966, bude mít napětí vypočtené v rozvodně Neředín, ovšem sníženo o úbytky vzniklé na zmíněných vedeních. I v tomto případě je možné počítat napájení pouze z jedné strany

$$\Delta U_{1847} = \sqrt{3} \cdot l_{1847} \cdot \left(I'_{1847-N} - \frac{I_{1847}}{2} \right) \cdot (R_{1847} \cdot \cos \varphi + X_{1847} \cdot \sin \varphi) = 0,33 \text{ kV}$$

$$U_S = U_{OS} - (\Delta U_{2033} + \Delta U_{1847}) = 22,15 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Ztráty na vedení 316 se vypočtou ze zbylého proudového zatížení rozvodny OLCH, které je přenášeno tímto vedením

$$\Delta P_{316-H} = 3 \cdot R_{316} \cdot l_{316} \cdot I'_{316-H}{}^2 = 137,44 \text{ kW}$$

Ztráty na vývodech 2033, 2034 v rozvodny OLCH a 1847, 944 v rozvodně Neředín se zvýší o zatížení připojené rozvodny Slavonín

$$\Delta P_{2033-OS} = 3 \cdot R_{2033} \cdot l_{2033} \cdot (I'_{2033-OS} - I_{2033-OS})^2 = 1,97 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2034-OS} = 3 \cdot R_{2034} \cdot l_{2034} \cdot (I'_{2034-OS} - I_{2034-OS})^2 = 1,84 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{1847-N} = 3 \cdot R_{1847} \cdot l_{1847} \cdot (I'_{1847-N} - I_{1847-N})^2 = 43 \text{ kW}$$

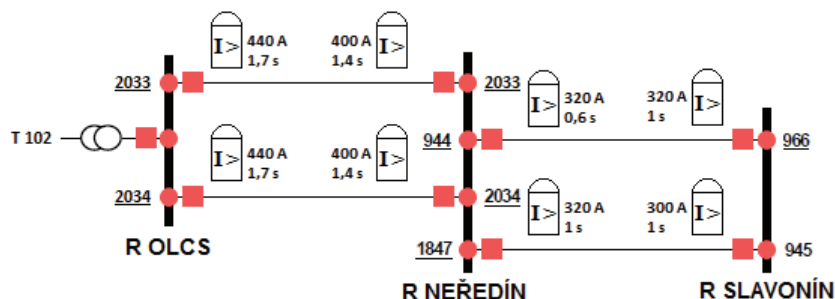
$$\Delta P_{944-N} = 3 \cdot R_{944} \cdot l_{944} \cdot (I'_{944-N} - I_{944-N})^2 = 27,33 \text{ kW}$$

Celkové zvýšení ztrát v síti je pak dáno součtem vypočtených dílčích ztrát

$$\Delta P_{OLCH-var.2} = \sum \Delta P_i = 211,58 \text{ kW}$$

Selektivita ochran

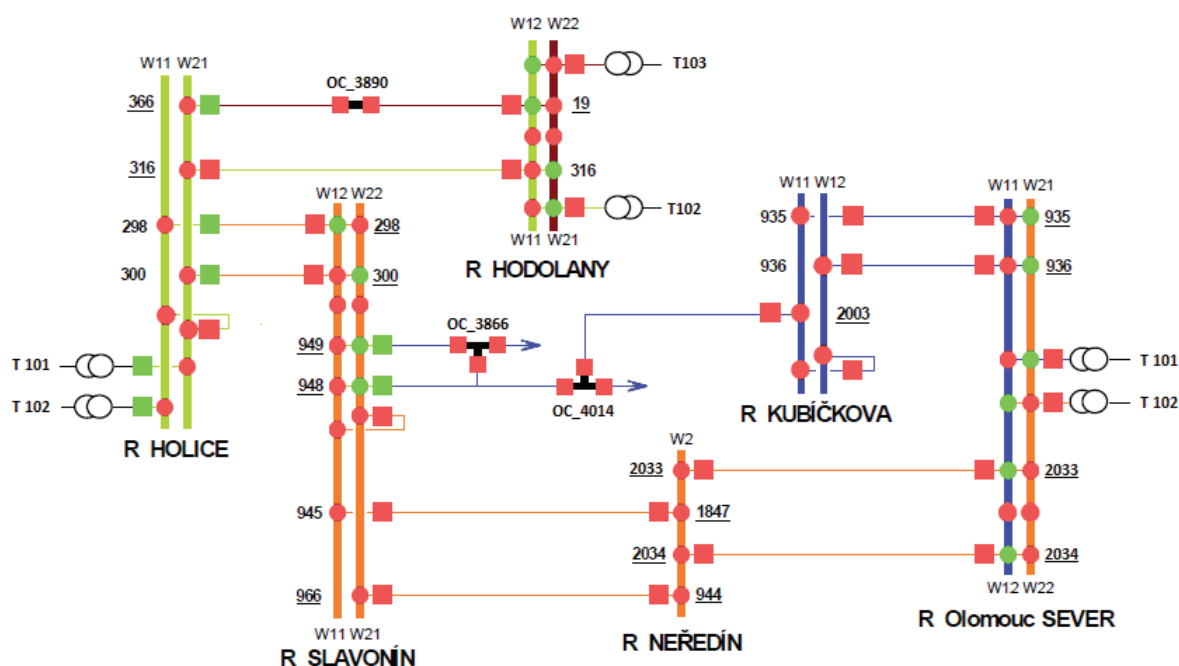
Z obr. 5.7 je možné určit, že v tomto případě není dodržena selektivita jištění. Řešením by zde bylo u ochrany vedení 944 v rozvodně Neředín zvýšení vypínacího času na hodnotu 1,2 s.



Obr. 5.7: Selektivita ochran při záložním napájení rozvodny Slavonín

5.2.1.3 3. varianta zálohování rozvodny OLCH

Tahle varianta je v podstatě kombinací předchozích dvou variant, při níž jsou využity k pokrytí nedodaného výkonu rozvodny OLCH všechny čtyři transformátory zapojené v síti. Rozvodna OLCH bude napájena transformátorem T102 z rozvodny HDLN, přičemž dojde k přepojení části vedení a zajištění jejich napájení z okolních transformátorů. Dojde také k odpojení rozvodny Slavonín od rozvodny OLCH a její napájení bude zajištěno transformátorem T102 přes spínací stanici Neředín.



Obr. 5.8: Schematické znázornění 3. varianty zálohování rozvodny OLCH

Manipulace v sítí, kterými je dosaženo náhradní napájení rozvodny OLCH, jsou popsány následovně

1. Vypnout vývody 949 (91 A) a 948 (64 A) v rozvodně Slavonín. Zapnout vývod v DTS OC_3866 (\rightarrow 948) a v OC_4014 (\rightarrow 948). Zatížení odpojených vedení bude dodáno z rozvodny Kubičkova po vedení 2003, která je napájena transformátorem T101 v rozvodně OLCS pomocí vedení 935 a 936.
2. Vypnout vývody 298 a 300 v rozvodně OLCH. Zapnout vývody 945 a 966 v rozvodně Slavonín. Zatížení rozvodny Slavonín je dodáno z rozvodny Neředín po vedeních 1847 (945) a 944 (966), která je napájena transformátorem T102 z OLCS po vedeních 2033 a 2034.
3. Vypnout vývod 366 (93 A) v rozvodně OLCH. Zapnout vývod v DTS OC_3890 (\rightarrow 366). Zatížení odpojeného vedení je dodáno transformátorem T103 z rozvodny HDLN po vedení 19.
4. Zapnout vývod 316 v rozvodně HDLN. Zbylé zatížení rozvodny OLCH je po tomto vedení dodáno transformátorem T102 z rozvodny HDLN.

Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

Zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS se zvýší o zatížení vedení 948 a 949

$$I_{T101-OS} = I_{T101-OS} + I_{948-S} + I_{949-S} = 521 \text{ A}$$

O zatížení vedení 948 a 949 se zvýší i zatížení vedení 935 a 936 a to v poměru jejich impedancí

$$I_{935-OS} = (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 237 \text{ A}$$

$$I_{936-OS} = (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{936-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 234 \text{ A}$$

$$I_{935-K} = (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{935-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 241 \text{ A}$$

$$I_{936-K} = (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} + I_{949-S}) \cdot \frac{I_{936-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 237 \text{ A}$$

Zatížení vedení 2003 v rozvodně Kubičkova se zvýší o zatížení odpojených vedení 948 a 949

$$I_{2003-K} = I_{2003-K} + I_{948-S} + I_{949-S} = 224 \text{ A}$$

Zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCS se zvýší o zatížení rozvodny Slavonín:

$$I_{T102-OS} = I_{T102-OS} + I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S}) = 804 \text{ A}$$

U vedení 2033 a 2034 se také zvýší zatížení a to v poměru jejich impedancí:

$$I_{2033-OS} = (I_{2033-OS} + I_{2034-OS} + I_{298-S} + I_{300-S} - I_{948-S} - I_{949-S}) \cdot \frac{I_{2033-OS}}{I_{2033-OS} + I_{2034-OS}} = 262 \text{ A}$$

$$I_{2034-OS} = (I_{2033-OS} + I_{2034-OS} + I_{298-S} + I_{300-S} - I_{948-S} - I_{949-S}) \cdot \frac{I_{2034-OS}}{I_{2033-OS} + I_{2034-OS}} =$$

$$= 252 \text{ A}$$

$$I_{2033-N} = (I_{2033-N} + I_{2034-N} + I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{2033-N}}{I_{2033-N} + I_{2034-N}} =$$

$$= 255 \text{ A}$$

$$I_{2034-N} = (I_{2033-N} + I_{2034-N} + I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})) \cdot \frac{I_{2034-N}}{I_{2033-N} + I_{2034-N}} =$$

$$= 254 \text{ A}$$

Velikost zatížení vedení 1847 a 944 v rozvodně Neředín lze vypočítat z rovnosti proudových momentů

$$I_{1847-N} = \frac{I_{944-N} + 2 \cdot [I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})] + 3 \cdot I_{1847-N}}{4} = 135 \text{ A}$$

$$I_{944-N} = \frac{I_{1847-N} + 2 \cdot [I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})] + 3 \cdot I_{944-N}}{4} = 145 \text{ A}$$

$$I_{945-N} = \frac{I_{944-N} + 2 \cdot [I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})] - I_{1847-N}}{4} = 45 \text{ A}$$

$$I_{966-N} = \frac{I_{1847-N} + 2 \cdot [I_{298-S} + I_{300-S} - (I_{948-S} + I_{949-S})] - I_{944-N}}{4} = 35 \text{ A}$$

Zatížení transformátoru T103 v rozvodně HDLN se zvýší o zatížení vedení 366

$$I_{T103-H} = I_{T103-H} + I_{366-OH} = 653 \text{ A}$$

Vedení 366 bude napájeno z vedení 19 v rozvodně HDLN, kterému tím vzroste odebíraný proud na hodnotu

$$I_{19-H} = I_{19-H} + I_{366-OH} = 176 \text{ A}$$

Transformátor T102 v rozvodně HDLN převezme zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCH

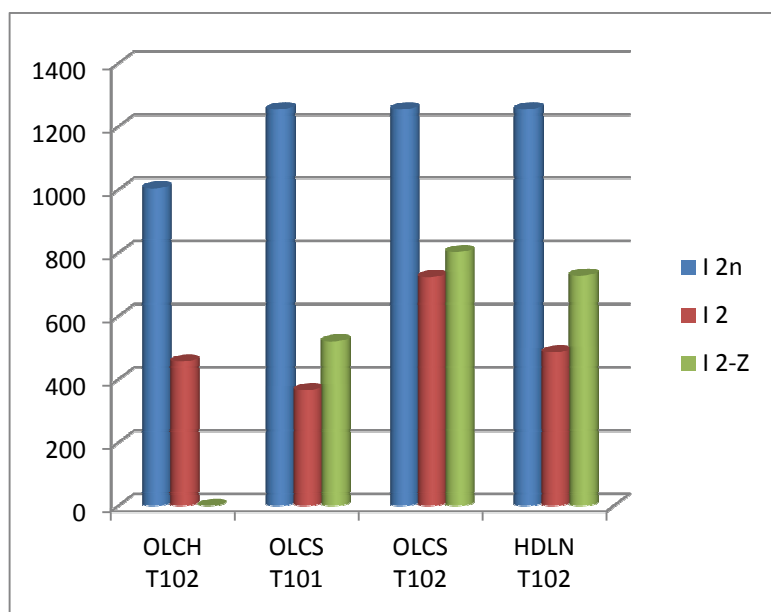
$$I_{T102-H} = I_{T102-H} + I_{T102-OH} - (I_{298-OH} + I_{300-OH} + I_{366-OH}) = 636 \text{ A}$$

Rozvodna OLCH bude napájena vedením 316, jehož zatížení tedy bude

$$I_{316-H} = I_{316-OH} + I_{T102-OH} - (I_{298-OH} + I_{300-OH} + I_{366-OH}) = 150 \text{ A}$$

Tab. 5.4: Srovnání zatížení transformátorů při 3. variantě zálohování rozvodny OLCH

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
OLCH	T102	40	1005	457	45,4	0	0,0
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	521	41,5
	T102	50	1255	724	57,7	804	64,0
HDLN	T103	50	1255	560	44,6	653	52,0
	T102	50	1255	486	38,7	636	50,7



Obr. 5.9: Grafické znázornění zatížení transformátorů 3. varianty zálohování rozvodny OLCH

Výpočet ztrát na vedení

Ztráty na vedení 19 se zvýší o ztráty připojeného vedení 366

$$\Delta P_{19-H} = 3 \cdot R_{19} \cdot l_{19} \cdot (I'_{19-H} - I_{19-H})^2 = 18,57 \text{ kW}$$

Vedení 316 bude mít ztráty úměrné zatížení rozvodny OLCH, snižené však o zátěž odpojené rozvodny Slavonín

$$\Delta P_{316-H} = 3 \cdot R_{316} \cdot l_{316} \cdot I'^2_{316-H} = 52,47 \text{ kW}$$

Ztráty na vývodech 935 a 936 z rozvodny OLCH a vývodu 2033 z rozvodny Kubičkova se zvýší o ztráty způsobené proudovým zatížením vedení 948 a 949, připojených k vedení 2003

$$\Delta P_{935-OS} = 3 \cdot R_{935} \cdot l_{935} \cdot (I'_{935-OS} - I_{935-OS})^2 = 3,44 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{936-OS} = 3 \cdot R_{936} \cdot l_{936} \cdot (I'_{936-OS} - I_{936-OS})^2 = 3,36 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2003-K} = 3 \cdot R_{2003} \cdot l_{2003} \cdot (I'_{2003-K} - I_{2003-K})^2 = 35,89 \text{ kW}$$

Obdobně se pak vypočtou i ztráty na vývodech 2033, 3034 v rozvodně OLCH a vývodech 1847 a 944 z rozvodny Neředín, ke kterým je připojena zbylá zátěž rozvodny Slavonín

$$\Delta P_{2033-OS} = 3 \cdot R_{2033} \cdot l_{2033} \cdot (I'_{2033-OS} - I_{2033-OS})^2 = 0,23 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2034-OS} = 3 \cdot R_{2034} \cdot l_{2034} \cdot (I'_{2034-OS} - I_{2034-OS})^2 = 0,21 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{1847-N} = 3 \cdot R_{1847} \cdot l_{1847} \cdot (I'_{1847-N} - I_{1847-N})^2 = 5,77 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{944-N} = 3 \cdot R_{944} \cdot l_{944} \cdot (I'_{944-N} - I_{944-N})^2 = 2,62 \text{ kW}$$

Celkové zvýšení ztrát je pak dáno sumou dílčích ztrát

$$\Delta P_{OLCH-var.3} = \sum \Delta P_i = 122,58 \text{ kW}$$

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Napětí v rozvodně OLCH se vypočte z napětí napětí na přípojnici W11 v rozvodně HDLN, od kterého je odečten úbytek napětí vedení 316, po němž je rozvodna OLCH napájena

$$\Delta U_{316} = \sqrt{3} \cdot l_{316} \cdot (R_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \cos \varphi + X_{316} \cdot I'_{316-H} \cdot \sin \varphi) = 0,28 \text{ kV}$$

$$U_{OH} = U_H - \Delta U_{316} = 22,3 \text{ kV}$$

K rozvodně Kubíčкова bude připojena část zátěže rozvodny Slavonín. To způsobí zvýšení úbytku napětí v napájecích vedeních 935 a 936 a tedy snížení napětí v rozvodně. Při výpočtu napětí rozvodny lze uvažovat napájení pouze z jedné strany

$$\Delta U_{935} = \sqrt{3} \cdot l_{935} \cdot (R_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \cos \varphi + X_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \sin \varphi) = 0,1 \text{ kV}$$

$$U_K = U_{OS} - \Delta U_{935} = 22,55 \text{ kV}$$

V případě připojení zbylého zatížení rozvodny Slavonín k rozvodně Neředín dojde opět ke snížení napětí v rozvodně, způsobené zvýšením zatížení v napájecích přívodech 2033 a 2034. Výpočet lze rovněž provést jako v předchozím případě

$$\Delta U_{2033} = \sqrt{3} \cdot l_{2033} \cdot (R_{2033} \cdot I'_{2033-OS} \cdot \cos \varphi + X_{2033} \cdot I'_{2033-OS} \cdot \sin \varphi) = 0,03 \text{ kV}$$

$$U_N = U_{OS} - \Delta U_{2033} = 22,48 \text{ kV}$$

Velikost napětí v rozvodně Slavonín se vypočte z napětí v rozvodně Neředín, sníženého o úbytky napětí v přírodních vedeních 1847 – 945 a 944 – 966

$$\Delta U_{1847} = \sqrt{3} \cdot l_{1847} \cdot \left(I'_{1847-N} - \frac{I_{1847}}{2} \right) \cdot (R_{1847} \cdot \cos \varphi + X_{1847} \cdot \sin \varphi) = 0,18 \text{ kV}$$

$$U_S = U_{OS} - (\Delta U_{2033} + \Delta U_{1847}) = 22,31 \text{ kV}$$

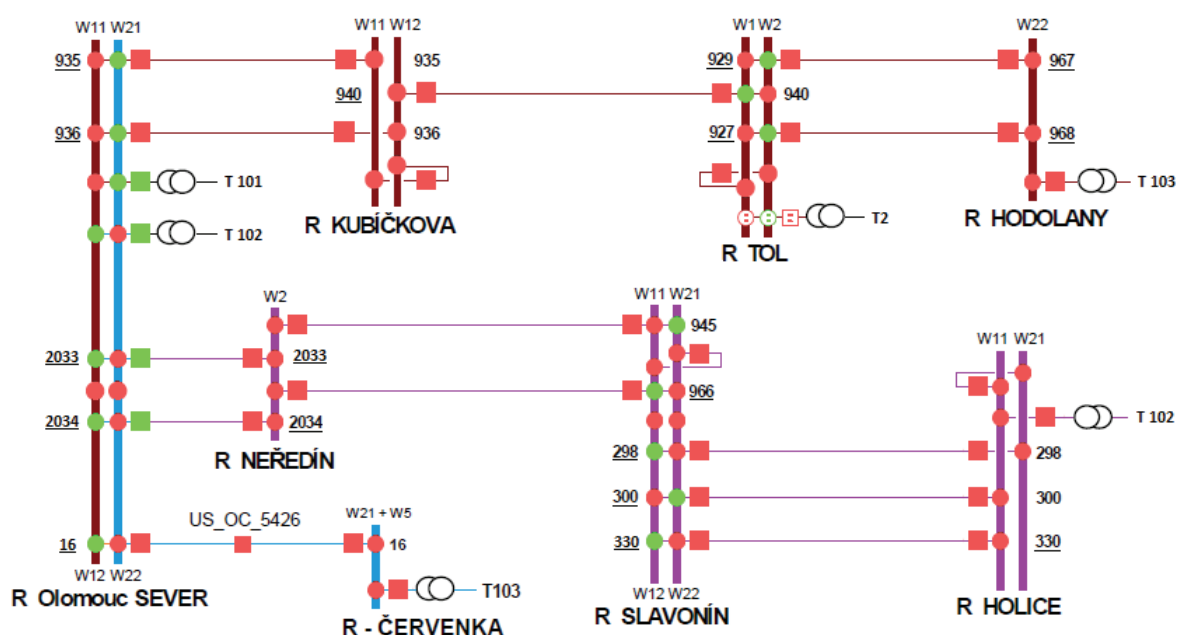
5.2.2 Výpadek napájení rozvodny OLCS

Rozvodna OLCS je při současné konfiguraci napájena transformátory T101 (366 A) a T102 (724 A). K zálohování této rozvodny bude využit, kromě transformátorů T103 v rozvodně HDLN a T102 v rozvodně OLCH, také transformátor T103 v rozvodně CERV.

5.2.2.1 1. varianta zálohování rozvodny OLCS

V navržené variantě zálohování je celkové zatížení transformátoru T101 dodáno z rozvodny HDLN transformátorem T103. Rozvodna Neředín je odpojena od napájení z rozvodny OLCS a její zatížení je dodáno přes spínací stanici Slavonín transformátorem T102 z rozvodny OLCH. Zbýlé zatížení transformátoru T102 je dodáno z rozvodny CERV transformátorem T103. K zálohování rozvodny OLCS bylo využito těchto manipulací v síti 22 kV:

1. Vypnout vývody 2033 a 2034 v rozvodně OLCS. Zapnout vývody 945, 966 a 330 v rozvodně Slavonín. Zatížení rozvodny Neředín je dodáno po vedeních 945 (1847) a 966 (944) z rozvodny Slavonín, která je napájena po vedeních 298, 300 a 330 z transformátoru T102 v rozvodně OLCH.
2. Zapnout odpínač US_OC_5426. Zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCS bude dodáno z rozvodny CERV transformátorem 103 po vedení 16.
3. Zapnout vývod 929 v rozvodně TOL a následně zapnout příčný spínač přípojnic v rozvodně TOL. Zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS je dodáno transformátorem T103 v rozvodně HDLN přes rozvodny TOL a Kubičkova a transformátorem T2 v rozvodně TOL vedeními 967 (929) a 968 (927), 940, 935 a 936.



Obr. 5.10: Schematické znázornění 1. varianty zálohování rozvodny OLCS

Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

Zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCH se zvýší o zatížení rozvodny Neředín

$$I_{T102-OH} = I_{T102-OH} + I_{2033-N} + I_{2034-N} = 887 \text{ A}$$

Zatížení vedení 298, 300 a 330 se zvýší o zatížení rozvodny Neředín a přerozdělí se podle vztahu pro rovnost momentů proudů

$$I_{298-OH} = \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S}) + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N}) + I_{330-OH}}{6} + \frac{4 \cdot (I_{298-OH} - I_{298-S})}{6} = 220 \text{ A}$$

$$I_{300-OH} = \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S}) + I_{330-OH} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N})}{6} + \frac{4 \cdot (I_{300-OH} - I_{300-S})}{6} = 231 \text{ A}$$

$$I_{330-OH} = \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S}) + 4 \cdot I_{330-OH} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N})}{6} + \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S})}{6} = 269 \text{ A}$$

Obdobně se vypočtou i zatížení přírodních vedení do rozvodny Slavonín

$$I_{298-S} = \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S}) + I_{330-OH} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N})}{6} - \frac{2 \cdot (I_{298-OH} - I_{298-S})}{6} = 241 \text{ A}$$

$$I_{300-S} = \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S}) + I_{330-OH} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N})}{6} - \frac{2 \cdot (I_{300-OH} - I_{300-S})}{6} = 230 \text{ A}$$

$$I_{330-S} = \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S}) - 2 \cdot I_{330-OH} + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2034-N})}{6} + \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S})}{6} = 193 \text{ A}$$

Zatížení vývodů 945 a 966 z rozvodny Slavonín a přívodů 1847 a 944 do rozvodny Neředín se vypočte opět podle rovnosti proudových momentů

$$I_{945-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2034-N}) - I_{944-N} + I_{1837-N}}{4} = 210 \text{ A}$$

$$I_{966-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2034-N}) - I_{1837-N} + I_{944-N}}{4} = 220 \text{ A}$$

$$I_{1847-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2034-N}) - I_{944-N} - 3 \cdot I_{1837-N}}{4} = 120 \text{ A}$$

$$I_{944-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2034-N}) - I_{1837-N} - 3 \cdot I_{944-N}}{4} = 110 \text{ A}$$

Transformátor T103 v rozvodně CERV převezme zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCS

$$I_{T103-C} = I_{T103-C} + I_{T102-C} - (I_{2033-OS} + I_{2034-OS}) = 993 \text{ A}$$

Vedením 16, kterým je propojena rozvodna CERV s rozvodnou OLCS, budou protékat proudy stanovené podle následujících vztahů

$$I_{16-C} = I_{16-C} + I_{T102-C} - (I_{2033-OS} + I_{2034-OS}) = 342 \text{ A}$$

$$I_{16-OS} = I_{T102-C} - (I_{2033-OS} + I_{2034-OS} + I_{16-OS}) = 221 \text{ A}$$

Transformátor T103 v rozvodně HDLN převezme celkové zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS

$$I_{T103-H} = I_{T103-H} + I_{T101-OS} = 926 \text{ A}$$

Zatížení vývodů 967 a 968 z rozvodny HDLN a přívodů 929 a 927 do rozvodny TOL se vypočte z rovnosti proudových momentů

$$I_{967-H} = \frac{(I_{968-H} + I_{927-T}) + 2 \cdot (I_{T101-OS} - I_{940-N}) + 3 \cdot I_{967-H}}{4} = 215 \text{ A}$$

$$I_{968-H} = \frac{I_{967-H} + 2 \cdot (I_{T101-OS} - I_{940-N}) + 3 \cdot (I_{968-H} + I_{927-T})}{4} = 244 \text{ A}$$

$$I_{929-T} = \frac{(I_{968-H} + I_{927-T}) + 2 \cdot (I_{T101-OS} - I_{940-N}) - I_{967-H}}{4} = 159 \text{ A}$$

$$I_{927-T} = \frac{I_{967-H} + 2 \cdot (I_{T101-OS} - I_{940-N}) - (I_{968-H} + I_{927-T})}{4} = 131 \text{ A}$$

Vedení 940 propojující rozvodnu TOL s rozvodnou Kubíčková bude proudově zatíženo

$$I_{400-T} = I_{T101-OS} - I_{940-T} = 283 \text{ A}$$

$$I_{400-N} = I_{T101-OS} - I_{940-N} = 283 \text{ A}$$

Zatížení vývodů 935 a 936, jimiž je napájena rozvodna OLCS z rozvodny Kubíčková, zvýší své zatížení v poměru svých impedancí

$$I_{935-N} = [I_{T101-OS} - (I_{935-OS} + I_{936-OS})] \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 21 \text{ A}$$

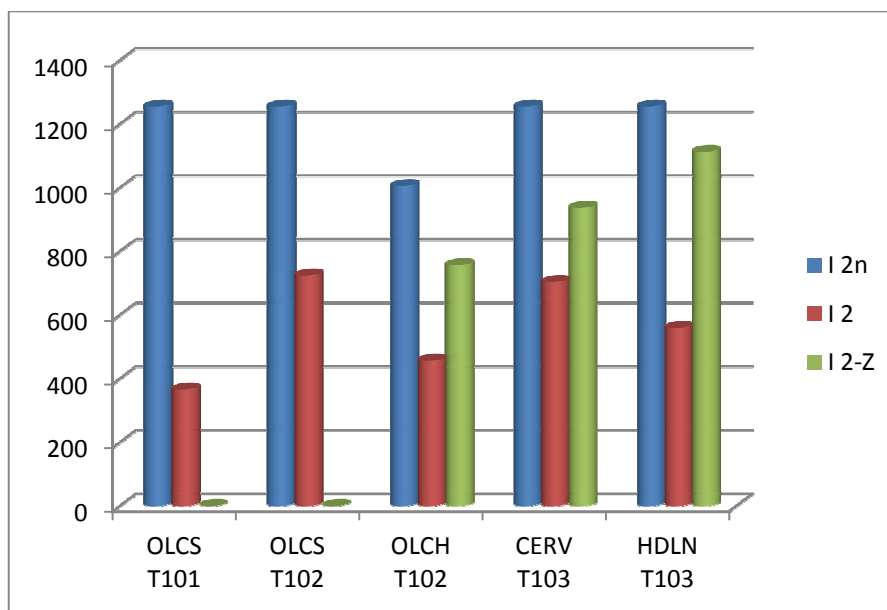
$$I_{936-N} = [I_{T101-OS} - (I_{935-OS} + I_{936-OS})] \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 21 \text{ A}$$

$$I_{935-OS} = [I_{T101-OS} - (I_{935-OS} + I_{936-OS})] \cdot \frac{I_{935-N}}{I_{935-N} + I_{936-N}} = 25 \text{ A}$$

$$I_{936-OS} = [I_{T101-OS} - (I_{935-OS} + I_{936-OS})] \cdot \frac{I_{936-N}}{I_{935-N} + I_{936-N}} = 25 \text{ A}$$

Tab. 5.5: Srovnání zatížení transformátorů při 1. variantě zálohování rozvodny OLCS

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	0	0,0
	T102	50	1255	724	57,7	0	0,0
CERV	T103	50	1255	457	45,4	887	88,2
OLCH	T102	40	1005	704	56,1	993	79,2
HDLN	T102	50	1255	560	44,6	926	73,8



Obr. 5.11: Grafické znázornění zatížení transformátorů 1. varianty zálohování rozvodny OLCS

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Napětí v rozvodně TOL je dáno napětím na přípojnici W22 v rozvodně HDLN, které je sníženo o úbytky na přírodních vedeních 967 – 929 a 968 – 927. Jelikož místo maximálního úbytku je na přípojnici TOL, lze vedení počítat rozděleně, tedy jako napájené z jedné strany

$$\Delta U_{967} = \sqrt{3} \cdot [R_{967} \cdot l_{967} \cdot I'_{967-H} + R_{929} \cdot l_{929} \cdot (I'_{967-H} - I_{967})] \cdot \cos \varphi + \\ + \sqrt{3} \cdot [X_{1847} \cdot l_{967} \cdot I'_{967-H} + X_{945} \cdot l_{945} \cdot (I'_{967-H} - I_{967})] \cdot \sin \varphi = 0,25 \text{ kV}$$

$$U_T = U_H - \Delta U_{967} = 22,28 \text{ kV}$$

Na přípojnicih rozvodny Kubíčkova bude napětí rozvodny TOL snižené o úbytek napětí na přívodním vedení 940

$$\Delta U_{940} = \sqrt{3} \cdot l_{940} \cdot (R_{940} \cdot I'_{940-H} \cdot \cos \varphi + X_{940} \cdot I'_{940-H} \cdot \sin \varphi) = 0,16 \text{ kV}$$

$$U_K = U_H - (\Delta U_{967} + \Delta U_{940}) = 22,12 \text{ kV}$$

Přípojnice W11 a W12 rozvodny OLCS, které jsou napájeny vedeními 935 a 936, budou mít napětí rozvodny Kubíčkova, které bude ovšem nižší o úbytky na přívodních kabelech. Úbytek napětí na vedení a napětí v rozvodně se rovněž počítá pro napájení z jedné strany

$$\Delta U_{935} = \sqrt{3} \cdot l_{935} \cdot (R_{935} \cdot I'_{935-K} \cdot \cos \varphi + X_{935} \cdot I'_{935-K} \cdot \sin \varphi) = 0,01 \text{ kV}$$

$$U_{OS} = U_H - (\Delta U_{967} + \Delta U_{940} + \Delta U_{935}) = 22,12$$

Rozvodna Slavonín je vzhledem k velkému zatížení rozvodny Neředín, která je k ní připojena, napájena třemi vedeními (298, 300 a 330). Na těchto vedeních vznikají úbytky napětí, které po odečtení od napětí na přípojnicih rozvodny OLCH určí napětí v rozvodně Slavonín. Napájení rozvodny Slavonín lze rozdělit na tři vedení napájená z jedné strany a poté spočítat úbytky napětí

$$\Delta U_{300} = \sqrt{3} \cdot l_{300} \cdot (R_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \cos \varphi + X_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \sin \varphi) = 0,77 \text{ kV}$$

$$U_S = U_{OH} - \Delta U_{300} = 21,86 \text{ kV}$$

Napětí v rozvodně Neředín se vypočte z napětí rozvodny Slavonín odečtením úbytku na napájecích vedeních 945 – 1847 a 966 – 944. Vypočet se opět provede pro napájení z jedné strany

$$\Delta U_{945} = \sqrt{3} \cdot l_{945} \cdot \left(I'_{945-S} - \frac{I_{1847-N}}{2} \right) \cdot (R_{945} \cdot \cos \varphi + X_{945} \cdot \sin \varphi) = 0,32 \text{ kV}$$

$$U_N = U_{OH} - (\Delta U_{300} + \Delta U_{945}) = 21,54 \text{ kV}$$

Napětí přípojníc W21 a W22 v rozvodně OLCS bude dodáno z rozvodny CERV po vedení 16. Na něm také vznikne úbytek napětí, který určí napětí v rozvodně OLCS

$$\Delta U_{16} = \sqrt{3} \cdot l_{16} \cdot \left(I'_{16-C} - \frac{I_{16-OS} + I_{16-C}}{2} \right) \cdot (R_{16} \cdot \cos \varphi + X_{16} \cdot \sin \varphi) = 3,53 \text{ kV}$$

$$U_{OS} = U_C - \Delta U_{16} = 18,78 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Zvýšení ztrát na vývodech 967 a 968 v rozvodně HDLN bude způsobeno celkovým zatížením

$$\Delta P_{967-H} = 3 \cdot (R_{967} \cdot l_{967} + R_{929} \cdot l_{929}) \cdot (I'_{967-H} - I_{967-H})^2 = 38,17 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{968-H} = 3 \cdot (R_{968} \cdot l_{968} + R_{927} \cdot l_{927}) \cdot [I'_{968-H} - (I_{968-H} + I_{927-T})]^2 = 26,56 \text{ kW}$$

Výkonové ztráty vývodu 940 v rozvodně TOL a vývodů 935, 936 v rozvodně Kubičkova se zvýší vždy o patřičnou část zatížení rozvodny OLCS vyplývající ze schématu

$$\Delta P_{940-T} = 3 \cdot R_{940} \cdot l_{940} \cdot (I'_{940-T} - I_{940-K})^2 = 31,47 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{935-K} = 3 \cdot R_{935} \cdot l_{935} \cdot (I'_{935-K} - I_{935-OS})^2 = 10,75 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{936-K} = 3 \cdot R_{936} \cdot l_{936} \cdot (I'_{936-K} - I_{936-OS})^2 = 10,5 \text{ kW}$$

V případě vývodů 298, 300 a 330 z rozvodny OLCH a vývodů 945 a 966 z rozvodny Slavonín se ztráty zvýší o zatížení rozvodny Neředín

$$\Delta P_{298-OH} = 3 \cdot R_{298} \cdot l_{298} \cdot (I'_{298-OH} - I_{298-OH})^2 = 58,07 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{300-OH} = 3 \cdot R_{300} \cdot l_{300} \cdot (I'_{300-OH} - I_{300-OH})^2 = 51,44 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{330-OH} = 3 \cdot R_{330} \cdot l_{330} \cdot (I'_{330-OH} - I_{330-OH})^2 = 130,1 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{945-S} = 3 \cdot (R_{945} \cdot l_{945} + R_{1847} \cdot l_{1847}) \cdot (I'_{945-S} - I_{1847-N})^2 = 41,25 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{966-S} = 3 \cdot (R_{966} \cdot l_{966} + R_{944} \cdot l_{944}) \cdot (I'_{966-S} - I_{944-N})^2 = 26,12 \text{ kW}$$

Zvýšení ztrát výkonu na vedení 16, po kterém jsou napájeny přípojnice W21 a W22 v rozvodně OLCS z rozvodny CERV, je určeno vztahem

$$\Delta P_{16-C} = 3 \cdot R_{16} \cdot l_{16} \cdot \left[I'_{16-C} - \frac{I_{16-OS} + I_{16-C}}{2} \right]^2 = 1144,11 \text{ kW}$$

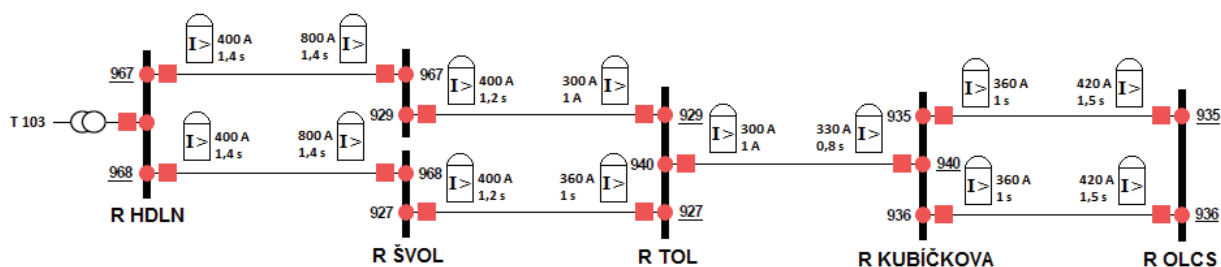
Celkové zvýšení ztrát na vedeních je pak vypočteno součtem všech dílčích ztrát

$$\Delta P_{OLCS-var.1} = \sum \Delta P_i = 1526,04 \text{ kW}$$

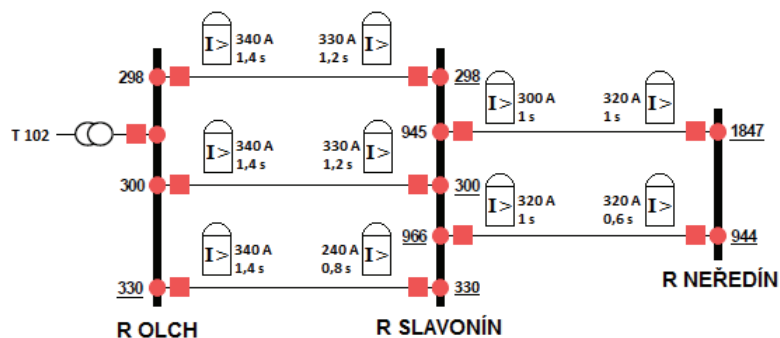
Selektivita ochran

V této variantě zálohování rozvodny OLCS není dodržena selektivita ochran, jak je možné vidět ve schématech obr. 5.12, obr. 5.13 a obr. 5.14. V případě napájení rozvodny OLCS by bylo vhodným způsobem k dosažení selektivity snížit vypínací časy ochran vedení 935 a 936 na hodnotu 0,6 s.

V případě napájení rozvodny Neředín je vhodný způsob k dosažení selektivity zvýšení vypínacího času vedení 330 v rozvodně Slavonín na hodnotu 1,2 s a snížení času vypnutí ochrany vedení 1847 v rozvodně Neředín na hodnotu 0,6 s.

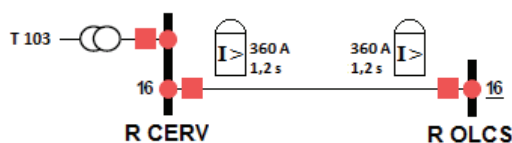


Obr. 5.12: Selektivita napájení cesty z rozvodny HDLN do rozvodny OLCS



Obr. 5.13: Selektivita napájecí cesty z rozvodny OLCS do rozvodny Neředín

Při napájení rozvodny OLCS z rozvodny CERV bude selektivita dosažena snížením vypínacího času vedení 16 v rozvodně OLCS na 1 s.



Obr. 5.14: Selektivita napájení cesty z rozvodny CERV do rozvodny OLCS

5.2.2.2 2. varianta zálohování rozvodny OLCS

Spínací stanice Neředín a Kubíčková budou odpojeny v rozvodně OLCS. Rozvodna Neředín bude poté napájena transformátorem T102 v rozvodně OLCS a pro rozvodnu Kubíčková bude napájení zajištěno z rozvodny HDLN transformátorem T103. Zbýlé zatížení transformátoru T101 je zajištěno opět transformátorem T103 v rozvodně HDLN a zatížení transformátoru T102 je dodáno z rozvodny CERV transformátorem T103. Toho je dosaženo pomocí následujících manipulací

1. Vypnout vývod 948 v rozvodně Slavonín a následně zapnout vývod v DTS OC_4014 (→ 2003). Vedení 948 bude tedy napájeno z rozvodny Kubíčková vedením 2003.
2. Vypnout vývody 2033 a 2034 v rozvodně OLCS. Zapnout vývody 945 a 966 v rozvodně Slavonín. Zatížení rozvodny Neředín je dodáno po vedeních 945 (1847) a 966 (944) z rozvodny Slavonín, která je napájena po vedeních 298 a 300 z transformátoru T102 v rozvodně OLCH.

-
- Figure 1 illustrates the genetic map of the R gene cluster, showing the arrangement of genes (W11, W21, W12, W22) and their relationships across different R gene clusters. The map is organized into eight main sections, each representing a different R gene cluster:
- R KUBÍČKOVA:** Shows genes W11, W21, and W12. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W12 is flanked by T103. The gene W12 is also flanked by T2.
 - R TOL:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T2. W22 is flanked by T103.
 - R HODOLANY:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
 - R NEŘEDÍN:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
 - R Olomouc SEVER:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
 - R - ČERVENKA:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
 - R SLAVONÍN:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
 - R HOLICE:** Shows genes W11, W21, and W22. W11 and W21 are flanked by T101 and T102. W22 is flanked by T103.
- The map uses color coding to distinguish between different gene types: red for W11, W21, and W22; green for W12; and blue for W2. Lines of different colors (red, purple, blue) connect the genes across the different R gene clusters, indicating their relative positions and relationships.

$$I_{298-S} = \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S}) + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2033-N} - I_{948-S})}{4} - \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S})}{4} = 306 \text{ A}$$

$$I_{300-S} = \frac{(I_{300-OH} - I_{300-S}) + 2 \cdot (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{2033-N} + I_{2033-N} - I_{948-S})}{4} - \frac{(I_{298-OH} - I_{298-S})}{4} = 295 \text{ A}$$

Rozvodna Neředín bude napájena vedeními 945 (1847) a 966 (944), jejichž odběry se přepočtou podle vztahu pro momenty proudů

$$I_{945-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2033-N}) - I_{944-N} + I_{1847-N}}{4} = 210 \text{ A}$$

$$I_{966-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2033-N}) - I_{1847-N} + I_{944-N}}{4} = 220 \text{ A}$$

$$I_{1847-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2033-N}) - I_{944-N} - 3 \cdot I_{1847-N}}{4} = 120 \text{ A}$$

$$I_{944-S} = \frac{2 \cdot (I_{2033-N} + I_{2033-N}) - I_{1847-N} - 3 \cdot I_{944-N}}{4} = 110 \text{ A}$$

Zatížení transformátoru T103 v rozvodně CERV se zvýší o zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně OLCS

$$I_{T103-C} = I_{T103-C} + I_{T102-OS} - (I_{2033-N} + I_{2033-N}) = 993 \text{ A}$$

Vedení 16, po kterém bude napájena rozvodna OLCS, zvýší odebíraný výkon obdobně jako v předchozím výpočtu

$$I_{16-C} = I_{16-C} + I_{T102-OS} - (I_{2033-N} + I_{2033-N}) = 342 \text{ A}$$

$$I_{16-OS} = I_{T102-OS} - (I_{2033-N} + I_{2033-N} + I_{16-OS}) = 221 \text{ A}$$

Transformátor T103 v rozvodně HDLN zvýší odebíraný proud o zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS a vedení 948

$$I_{T103-H} = I_{T103-H} + I_{T101-OS} + I_{948-S} = 990 \text{ A}$$

Rozvodna TOL bude napájena vedeními 967 (929) a 968 (927), přičemž jejich zatížení se přepočtou podle proudových momentů

$$I_{967-H} = \frac{(I_{968-H} + I_{927-T}) + 2 \cdot (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - I_{T2-T}) + 3 \cdot I_{967-H}}{4} = 226 \text{ A}$$

$$I_{968-H} = \frac{I_{967-H} + 2 \cdot (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - I_{T2-T}) + 3 \cdot (I_{968-H} + I_{927-T})}{4} = 255 \text{ A}$$

$$I_{929-T} = \frac{(I_{968-H} + I_{927-T}) + 2 \cdot (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - I_{T2-T}) - I_{967-H}}{4} = 170 \text{ A}$$

$$I_{927-T} = \frac{I_{967-H} + 2 \cdot (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - I_{T2-T}) - (I_{968-H} + I_{927-T})}{4} = 142 \text{ A}$$

Zatížení vedení 938 a 940, po kterých je napájena rozvodna Kubičkova, se rovněž přepočtou podle rovnosti momentů proudů

$$I_{938-T} = \frac{(I_{940-K} - I_{940-T}) + 2 \cdot [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - (I_{938-K} + I_{940-K})] + 3 \cdot I_{938-K}}{4} =$$

$$= 166 \text{ A}$$

$$I_{940-T} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - (I_{938-K} + I_{940-K})] + 3 \cdot (I_{940-K} - I_{940-T})}{4} =$$

$$= 138 \text{ A}$$

$$I_{938-K} = \frac{(I_{940-K} - I_{940-T}) + 2 \cdot [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - (I_{938-K} + I_{940-K})] - I_{938-K}}{4} =$$

$$= 111 \text{ A}$$

$$I_{940-K} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{948-S} - (I_{938-K} + I_{940-K})] - (I_{940-K} - I_{940-T})}{4} =$$

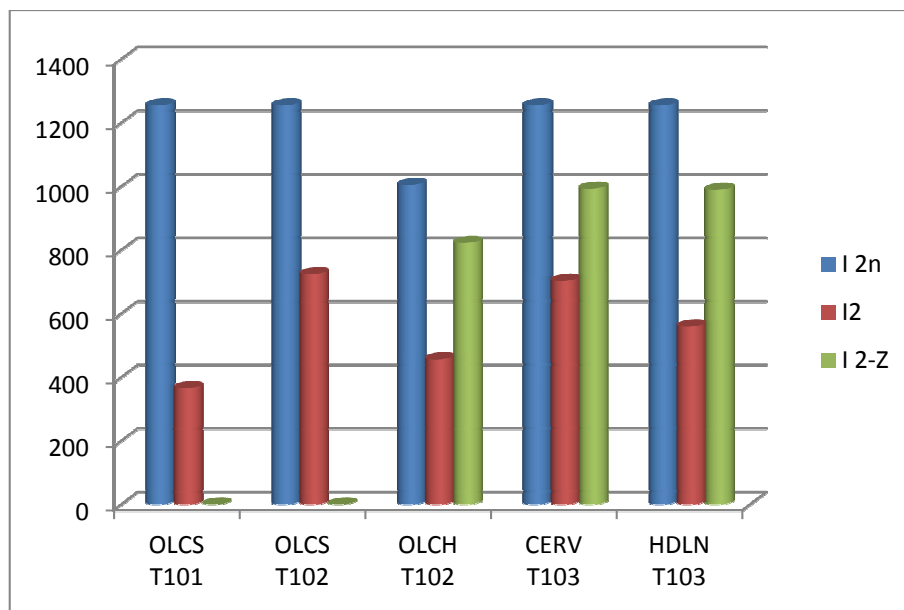
$$= 139 \text{ A}$$

Zatížení vedení 2003 se zvýší o zatížení vedení 948

$$I_{2003-K} = I_{2003-K} + I_{948-S} = 133 \text{ A}$$

Tab. 5.6: Srovnání zatížení transformátorů při 2. Variantě zálohování rozvodny OLCS

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	0	0,0
	T102	50	1255	724	57,7	0	0,0
CERV	T103	50	1255	457	45,4	823	81,9
OLCH	T102	40	1005	704	56,1	993	79,2
HDLN	T102	50	1255	560	44,6	990	78,9



Obr. 5.16: Grafické znázornění zatížení transformátorů 2. varianty zálohování rozvodny OLCS

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Napětí v rozvodně OLCS se vypočte z napětí na přípojnici W22 v rozvodně HDLN, od kterého je odečten úbytek napětí na vedeních 925 – 329, po kterých je rozvodna OLCS napájena

$$\begin{aligned} \Delta U_{925-329} &= \sqrt{3}[(R_{925} \cdot l_{925} + R_{329} \cdot l_{329}) \cdot I'_{925-H} - R_{329} \cdot l_{329} \cdot (I_{925-H} + I_{329-OS})] \cos \varphi + \\ &+ \sqrt{3}[(X_{925} \cdot l_{925} + X_{329} \cdot l_{329}) \cdot I'_{925-H} - X_{329} \cdot l_{329} \cdot (I_{925-H} + I_{329-OS})] \sin \varphi = \\ &= 0,24 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$U_{OS} = U_H - \Delta U_{925-329} = 22,29 \text{ kV}$$

Z rozvodny TOL bude napájena rozvodna Kubičkova, čímž vzroste zatížení přívodních vedení 967 – 929 a 968 – 927. Díky tomu dojde ke zvýšení úbytků napětí na těchto vývodech a tedy ke snížení napětí v rozvodně TOL. Napětí lze rozdělit a úbytky napětí je možné počítat pro napájení z jedné strany

$$\Delta U_{967} = \sqrt{3} \cdot \left(I'_{967-H} - \frac{I_{967}}{2} \right) \cdot l_{967} \cdot (R_{967} \cdot \cos \varphi + X_{967} \cdot \sin \varphi) = 0,2 \text{ kV}$$

$$U_T = U_H - \Delta U_{967} = 22,33 \text{ kV}$$

Napětí v rozvodně Kubičkova, která je napájena vedeními 938 a 940, se opět vypočte pro vedení napájené z jedné strany

$$\Delta U_{940} = \sqrt{3} \cdot l_{940} \cdot (R_{940} \cdot I'_{940-H} \cdot \cos \varphi + X_{940} \cdot I'_{940-H} \cdot \sin \varphi) = 0,08 \text{ kV}$$

$$U_K = U_H - (\Delta U_{967} + \Delta U_{940}) = 22,26$$

Rozvodna Slavonín bude napájet rozvodnu Neředín, čímž dojde ke zvýšení úbytků na přírodních vedeních 298 a 300. Výsledné napětí v rozvodně Slavonín pak bude dáno rozdílem napětí v rozvodně OLCH a úbytku napětí na napájecím vedení

$$\Delta U_{300} = \sqrt{3} \cdot l_{300} \cdot (R_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \cos \varphi + X_{300} \cdot I'_{300-OH} \cdot \sin \varphi) = 0,99 \text{ kV}$$

$$U_S = U_{OH} - \Delta U_{300} = 21,65 \text{ kV}$$

Napětí v rozvodně Neředín, kterou napájí vedení 945 – 1847 a 966 – 944 se vypočte z napětí v rozvodně Slavonín a úbytků na těchto vedeních

$$\Delta U_{945} = \sqrt{3} \cdot \left(I'_{945-S} - \frac{I_{1847-N}}{2} \right) \cdot l_{945} \cdot (R_{945} \cdot \cos \varphi + X_{945} \cdot \sin \varphi) = 0,32 \text{ kV}$$

$$U_N = U_{OH} - (\Delta U_{300} + \Delta U_{945}) = 21,32 \text{ kV}$$

V případě napájení rozvodny OLCS z rozvodny CERV, je napětí na přípojnicích W21 a W22 určeno z napětí napájecí rozvodny od kterého se odečte úbytek přírodního vedení 16

$$\Delta U_{16} = \sqrt{3} \cdot l_{16} \cdot \left(I'_{16-C} - \frac{I_{16-OS} + I_{16-C}}{2} \right) \cdot (R_{16} \cdot \cos \varphi + X_{16} \cdot \sin \varphi) = 3,53 \text{ kV}$$

$$U_{OS} = U_C - \Delta U_{16} = 18,78 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Ztráty na vývodech 967, 968 z rozvodny HDLN a na vývodech 938, 940 se zvýší o zatížení rozvodny Kubičkova a vedení 948

$$\Delta P_{967-H} = 3 \cdot (R_{967} \cdot l_{967} + R_{929} \cdot l_{929}) \cdot (I'_{967-H} - I_{967-H})^2 = 43,53 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{968-H} = 3 \cdot (R_{968} \cdot l_{968} + R_{927} \cdot l_{927}) \cdot [I'_{968-H} - (I_{968-H} + I_{927-T})]^2 = 31,13 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{938-T} = 3 \cdot R_{938} \cdot l_{938} \cdot (I'_{938-T} - I_{938-K})^2 = 18,26 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{940-T} = 3 \cdot R_{940} \cdot l_{940} \cdot (I'_{940-T} - I_{940-K})^2 = 2,43 \text{ kW}$$

Výkonové ztráty na vedení 925 vzrostou o zbylé zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS

$$\Delta P_{925-H} = 3 \cdot (R_{925} \cdot l_{925} + R_{329} \cdot l_{329}) \cdot (I'_{925-H} - I_{925-H})^2 - 3 \cdot R_{329} \cdot l_{329} \cdot I_{329-OS}^2 = 11,83 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2003-OH} = 3 \cdot R_{2003} \cdot l_{2003} \cdot I_{948-S}^2 = 6,12 \text{ kW}$$

V případě vedení 298 a 300 v rozvodně OLCH a vedení 945 – 1847 a 966 – 944 se ztráty zvýší o zatížení připojené rozvodny Neředín

$$\Delta P_{298-OH} = 3 \cdot R_{298} \cdot l_{298} \cdot (I'_{298-OH} - I_{298-OH})^2 = 134,88 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{300-OH} = 3 \cdot R_{300} \cdot l_{300} \cdot (I'_{300-OH} - I_{300-OH})^2 = 125,53 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{945-S} = 3 \cdot (R_{945} \cdot l_{945} + R_{1847} \cdot l_{1847}) \cdot (I'_{945-S} - I_{1847-N})^2 = 41,25 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{966-S} = 3 \cdot (R_{966} \cdot l_{966} + R_{944} \cdot l_{944}) \cdot (I'_{966-S} - I_{944-N})^2 = 26,12 \text{ kW}$$

Zvýšení ztrát výkonu na vedení 16, po kterém jsou napájeny přípojnice W21 a W22 v rozvodně OLCS z rozvodny CERV, je určeno vztahem

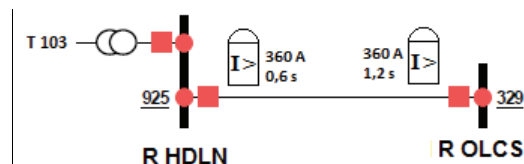
$$\Delta P_{16-C} = 3 \cdot R_{16} \cdot l_{16} \cdot \left[I'_{16-C} - \left(\frac{I_{16-OS} + I_{16-C}}{2} \right) \right]^2 = 1144,11 \text{ kW}$$

Celkové ztráty způsobené záložním napájením jsou určeny vztahem

$$\Delta P_{OLCS-var.2} = \sum \Delta P_i = 1585,18 \text{ kW}$$

Selektivita ochran

Selektivita napájecí cesty rozvodny Kubičkova bude dodržena, jak plyne z obr. 5.12. Při napájení rozvodny OLCS z rozvodny HDLN (obr. 5.17) by už ale docházelo k neselektivnímu vypínání. Vhodným řešením by pak bylo u ochrany na vedení 925 v rozvodně HDLN zvýšení vypínacího času na 1,4 s.

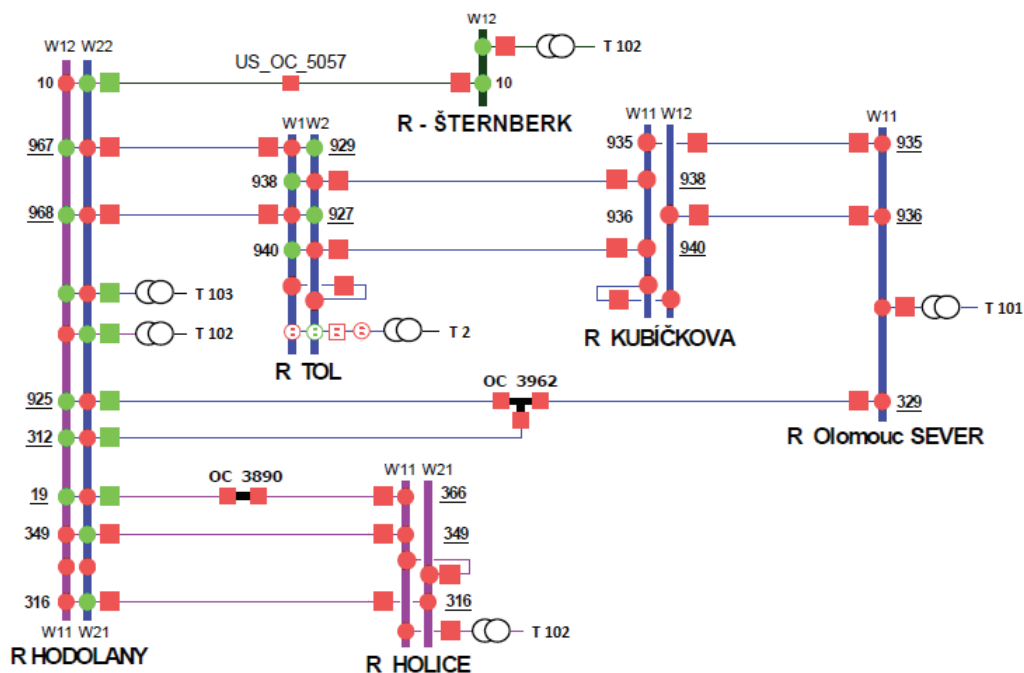


Obr. 5.17: Selektivita napájení cesty z rozvodny HDLN do rozvodny OLCS

V případě napájení rozvodny Neředín, se podle obr. 5.13 selektivního vypínání dosáhne snížením vypínacího času vedení 1847 v rozvodně Neředín na 0,6 s.

5.2.3 Výpadek napájení rozvodny HDLN

Při výpadku napájení rozvodny HDLN je nutno dodat nedodaný výkon transformátorů T102 a T103, které při současné konfiguraci dodávají do sítě 22 kV proudy 486 A (T102) a 560 A (T103). Zatížení transformátoru T102 bude dodáno z rozvodu OLCH, přičemž vedení 10 bude z rozvodny HDLN odpojeno a jeho napájení bude zajištěno z rozvodny STER. Zatížení transformátoru T103 bude plně dodáno z rozvodny OLCS přes rozvodny Kubičkova a TOL a částečně po kabelových vedeních.



Obr. 5.18: Schematické znázornění zálohování rozvodny HDLN

Přehled manipulací, kterými je dosaženo záložního napájení, je popsán následovně

1. Vypnout vývod 10 (124 A) v rozvodně HDLN a zapnout odpínač US_OC_5057. Vedení 10 je napájeno z rozvodny Šternberk transformátorem T102.
2. Přepnout vývod 349 v rozvodně HDLN z přípojnice W22 na W12. Zapnout vývod 316 v rozvodně HDLN a vývod 349 v rozvodně OLC. Zatížení transformátoru T102 bude dodáno po těchto vedeních z rozvodny OLC transformátorem T102.
3. Vypnout vývod 19 (83 A) v rozvodně HDLN a zapnout vývod v DTS OC_3890 (\rightarrow 366). Vedení 19 je napájeno přes vedení 366 z rozvodny OLC transformátorem T102.
4. Vypnout vývody 312 (76 A) a 925 (76 A) v rozvodně HDLN. Zapnout všechny vývody v DTS OC_3962. Vedení 925 a 312 jsou napájena přes vedení 329 z rozvodny OLCS transformátorem T101.
5. Zapnout vývody 929 a 938 v rozvodně TOL a následně zapnout příčný spínač přípojníc v rozvodně TOL. Zatížení transformátoru T103 v rozvodně HDLN je dodáno transformátorem T101 v rozvodně OLCS přes rozvodny Kubičkova a TOL po vedeních 935 a 936, 938 a 940, 929 (967) a 927 (968).

Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

Zatížení transformátoru T102 v rozvodně STER se zvýší o zatížení vedení 10

$$I_{T102-St} = I_{T102-St} + I_{10-H} = 612 \text{ A}$$

Obdobně se vypočte i zatížení vedení 10 v rozvodně STER

$$I_{10-St} = I_{10-St} + I_{10-H} = 233 \text{ A}$$

Transformátor T102 v rozvodně OLCH převezme zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně HDLN a také zatížení vedení 19. Jeho zatížení tedy vzroste na hodnotu

$$I_{T102-OH} = I_{T102-OH} + I_{19-H} + I_{T102-H} - I_{10-H} = 901 \text{ A}$$

Zatížení vedení 366 se zvýší o zatížení vedení 19

$$I_{366-OH} = I_{366-OH} + I_{19-H} = 176 \text{ A}$$

Transformátor T101 v rozvodně OLCS převezme zatížení transformátoru T103 z rozvodny HDLN

$$I_{T101-OS} = I_{T101-OS} + I_{T103-H} - I_{19-H} = 843 \text{ A}$$

Po vedení 329 bude dodáno zatížení odpojených vedení 925 a 312 z rozvodny HDLN

$$I_{329-OS} = I_{329-OS} + I_{925-H} + I_{312-H} = 215 \text{ A}$$

Zatížení vedení 935 a 936 napájející rozvodnu Kubíčková se zvýší o zbylé zatížení transformátoru v rozvodně HDLN

$$I_{935-OS} = [I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 322 \text{ A}$$

$$I_{936-OS} = [I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] \cdot \frac{I_{936-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 319 \text{ A}$$

$$I_{935-K} = [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] \cdot \frac{I_{935-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 327 \text{ A}$$

$$I_{936-K} = [I_{935-K} + I_{936-K} + I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] \cdot \frac{I_{936-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 321 \text{ A}$$

Zatížení vedení 938 a 940 napájející rozvodnu TOL se přerozdělí podle momentů proudů

$$I_{938-K} = \frac{(I_{400-K} - I_{400-T}) + 2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] + 3 \cdot I_{938-K}}{4} = 243 \text{ A}$$

$$I_{400-K} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] + 3 \cdot (I_{400-K} - I_{400-T})}{4} = 215 \text{ A}$$

$$I_{938-K} = \frac{(I_{400-K} - I_{400-T}) + 2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] - I_{938-K}}{4} = 188 \text{ A}$$

$$I_{400-K} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] - (I_{400-K} - I_{400-T})}{4} = 216 \text{ A}$$

Zatížení vedení 929 (967) a 927 (968), z nichž je napájena rozvodna TOL se přerozdělí podle proudových momentů

$$I_{929-K} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] + I_{927-T} - I_{968-H} + I_{967-H}}{4} = 186 \text{ A}$$

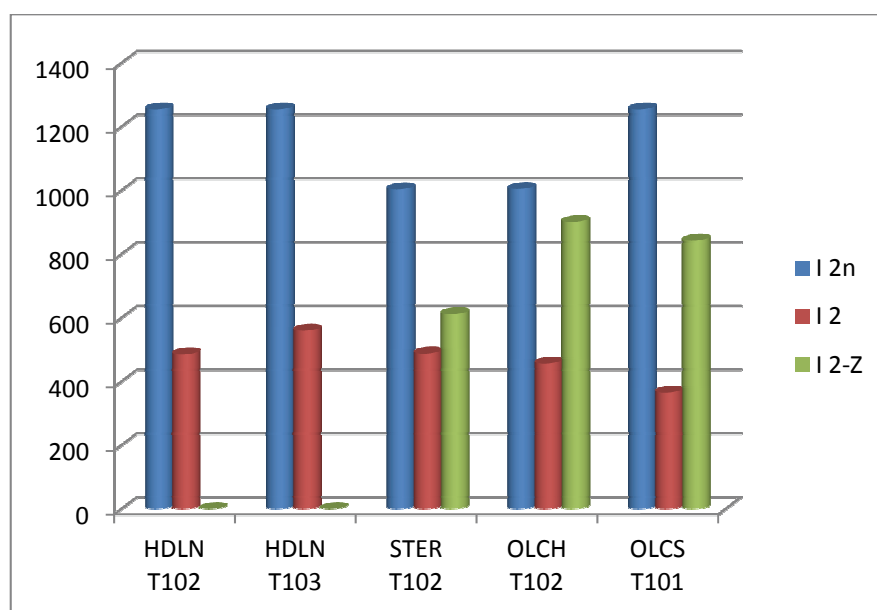
$$I_{929-K} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] - I_{967-H} + I_{968-H} + 3 \cdot I_{927-T}}{4} = 215 \text{ A}$$

$$I_{967-H} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] + I_{927-T} - I_{968-H} - 3 \cdot I_{967-H}}{4} = 130 \text{ A}$$

$$I_{968-H} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} - (I_{19-H} + I_{925-H} + I_{312-H})] - I_{967-H} - 3 \cdot I_{968-H} - I_{927-T}}{4} = 102 \text{ A}$$

Tab. 5.7: Srovnání zatížení transformátorů při zálohování rozvodny HDLN

Rozvodna	Název transformátoru	S _n (MVA)	I _{n2} (A)	I ₂		I _{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
HDLN	T102	50	1255	486	38,7	0	0,0
	T103	50	1255	560	44,6	0	0,0
STER	T102	50	1255	488	48,6	612	61,0
OLCH	T102	40	1005	457	45,4	901	89,7
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	843	67,1



Obr. 5.19: Grafické znázornění zatížení transformátorů při zálohování rozvodny HDLN

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Napětí v rozvodně Kubíčková, která je napájena z rozvodny OLCS, bude odpovídat rozdílu napětí na přípojnicích W11 v této rozvodně a úbytku na vedeních 935 a 936, po kterých je napájena

$$\Delta U_{935} = \sqrt{3} \cdot l_{935} \cdot (R_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \cos \varphi + X_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \sin \varphi) = 0,14 \text{ kV}$$

$$U_K = U_{OS} - \Delta U_{935} = 22,52$$

Na vedeních 938 a 940 bude vznikat úbytek napětí, který po odečtení od napětí v rozvodně Kubíčková, určí velikost napětí v rozvodně TOL

$$\Delta U_{940} = \sqrt{3} \cdot l_{940} \cdot (R_{940} \cdot I'_{940-K} \cdot \cos \varphi + X_{940} \cdot I'_{940-K} \cdot \sin \varphi) = 0,12 \text{ kV}$$

$$U_T = U_{OS} - (\Delta U_{935} + \Delta U_{940}) = 22,4 \text{ kV}$$

Na přípojnících W21 a W22 rozvodny HDLN bude napětí, jehož hodnota se získá z napětí v rozvodně TOL, které se sníží o úbytek napětí, vzniklý na vedeních 929 a 927

$$\Delta U_{929} = \sqrt{3} \cdot l_{929} \cdot \left(I'_{929-T} - \frac{I_{967-H}}{2} \right) \cdot (R_{929} \cdot \cos \varphi + X_{929} \cdot \sin \varphi) = 0,12 \text{ kV}$$

$$U_H = U_{OS} - (\Delta U_{935} + \Delta U_{940} + \Delta U_{967}) = 22,28 \text{ kV}$$

Z velikosti napětí v rozvodně OLCH se po odečtení úbytku napětí na vedeních 316 a 349 získá napětí na přípojnících W11 a W12 v rozvodně HDLN

$$\Delta U_{316} = \sqrt{3} \cdot l_{316} \cdot (R_{316} \cdot I'_{316-OH} \cdot \cos \varphi + X_{316} \cdot I'_{316-OH} \cdot \sin \varphi) = 0,34 \text{ kV}$$

$$U_H = U_{OH} - \Delta U_{316} = 22,29 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Ztráty na vedení 329 se zvýší o zatížení přepojených vedení 925 a 312

$$\Delta P_{329-OS} = 3 \cdot R_{329} \cdot l_{329} \cdot (I_{925-H} + I_{312-H})^2 = 65,05 \text{ kW}$$

Zvýšení ztrát na vývodech 935 a 936 z rozvodny OLCS bude způsobeno záložním napájením rozvodny HDLN

$$\Delta P_{935-OS} = 3 \cdot R_{935} \cdot l_{935} \cdot (I'_{935-OS} - I_{935-OS})^2 = 15,18 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{936-OS} = 3 \cdot R_{936} \cdot l_{936} \cdot (I'_{936-OS} - I_{936-OS})^2 = 14,82 \text{ kW}$$

Obdobným způsobem se vypočtou přídatné ztráty na vedení 938 a 940 napájející rozvodnu TOL a na vedeních 929, 927, jimiž je napájena rozvodna HDLN

$$\Delta P_{938-K} = 3 \cdot R_{938} \cdot l_{938} \cdot (I'_{938-K} - I_{938-K})^2 = 52,28 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{940-K} = 3 \cdot R_{940} \cdot l_{940} \cdot (I'_{940-K} - I_{940-K})^2 = 13,76 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{929-T} = 3 \cdot (R_{967} \cdot l_{967}) \cdot (I'_{929-T} - I_{967-H})^2 = 12,76 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{927-H} = 3 \cdot (R_{968} \cdot l_{968}) \cdot [I'_{927-T} - (I_{968-H} + I_{927-T})]^2 = 6,27 \text{ kW}$$

Ztráty na vedení 10 se zvýší o přídavné zatížení vedení 10, přepojeného z rozvodny HDLN na napájení z rozvodny STER

$$\Delta P_{10-St} = 3 \cdot R_{10} \cdot \frac{l_{10}}{2} \cdot I_{10-H}^2 = 151,46 \text{ kW}$$

Výkonové ztráty na vedení 366 se rovněž zvýší o zatížení vedení 19, které je k tomuto vedení přepojeno z rozvodny HDLN

$$\Delta P_{366-OH} = 3 \cdot R_{366} \cdot l_{366} \cdot I_{19-H}^2 = 29,7 \text{ kW}$$

V případě záložního napájení přípojnic W11 a W12 v rozvodně HDLN, dojde ke zvýšení ztrát na přívodních vedeních 316 a 349, po kterých je zmíněná rozvodna napájena z rozvodny OLCH

$$\Delta P_{316-OH} = 3 \cdot R_{316} \cdot l_{316} \cdot I_{316-OH}^2 = 79,23 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{349-OH} = 3 \cdot R_{349} \cdot l_{349} \cdot (I'_{349-OH} - I_{349-H})^2 = 71,57 \text{ kW}$$

Celkové výkonové ztráty, které vzniknou v důsledku záložního napájení, se vypočtou jako suma všech vypočtených dílčích ztrát na vedeních

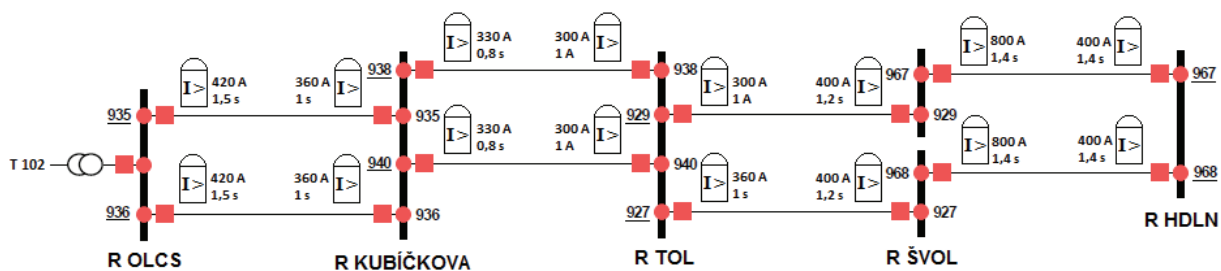
$$\Delta P_{HDLN} = \sum \Delta P_i = 512,08 \text{ kW}$$

Selektivita ochran

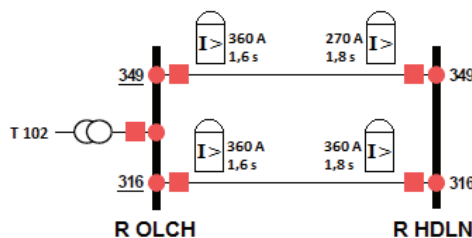
Selektivita napájení rozvodny HDLN není dosaženo, jak je možné vidět na obr. 5.20. V následujícím přehledu je popsáno nastavení ochran, díky kterému lze docílit selektivního vypínání:

- vedení 935 a 936 v rozvodně Kubičkova: $t_{>} = 1,4 \text{ s}$,
- vedení 938 a 940 v rozvodně Kubičkova: $t_{>} = 1,2 \text{ s}$,
- vedení 938 a 940 v rozvodně TOL: $t_{>} = 1,1 \text{ s}$,
- vedení 929 a 927 v rozvodně TOL: $t_{>} = 0,9 \text{ s}$,
- vedení 929 a 927 v rozvodně ŠVOL: $t_{>} = 0,8 \text{ s}$,
- vedení 967 a 968 v rozvodně ŠVOL: $t_{>} = 0,6 \text{ s}$,
- vedení 967 a 968 v rozvodně HDLN: $t_{>} = 0,6 \text{ s}$.

K dosažení selektivního vypínání rozvodny HDLN napájené rozvodnou OLCH je nezbytné snížit čas vypnutí ochran vedení 349 a 316 v rozvodně HDLN, a to na velikost 1,4 s.



Obr. 5.20: Selektivita napájení cesty z rozvodny OLCS do rozvodny HDLN



Obr. 5.21: Selektivita napájecí cesty z rozvodny OLCH do rozvodny HDLN

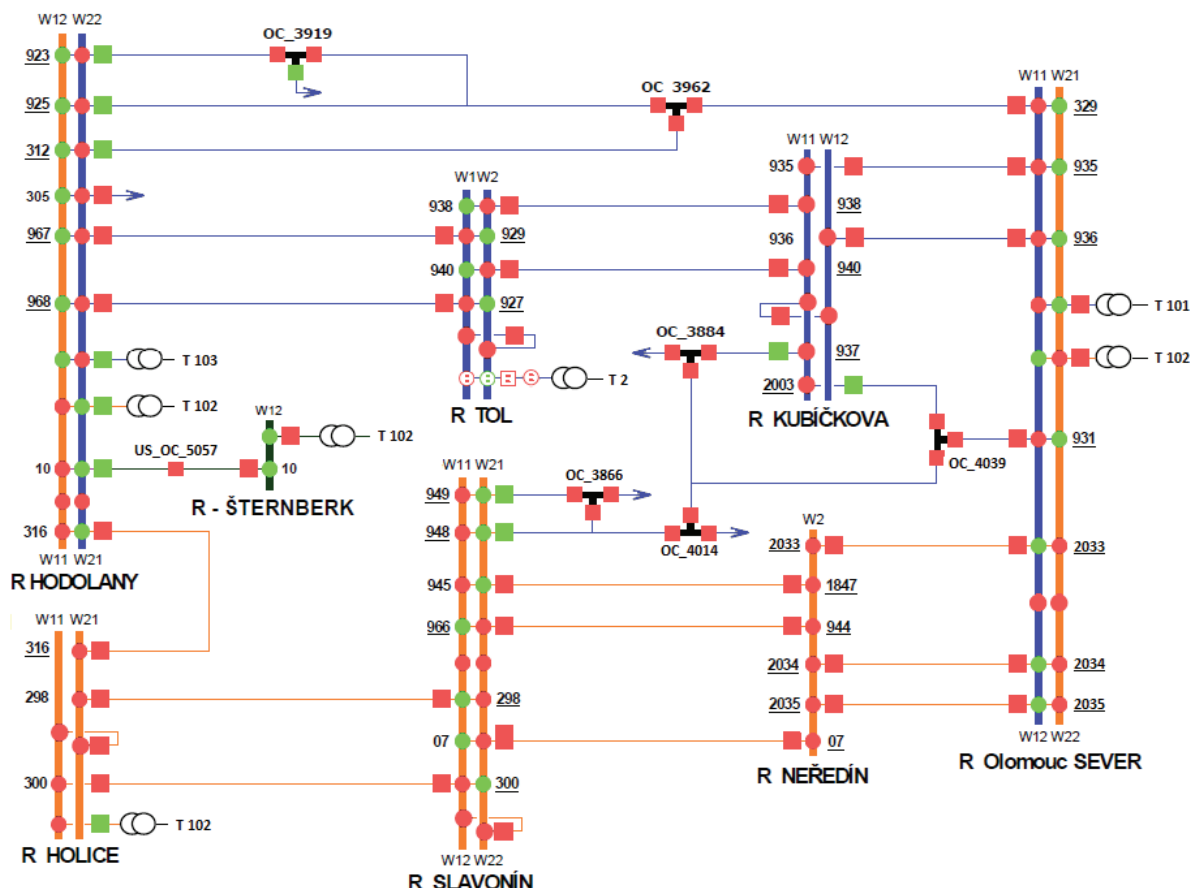
5.3 Výpadek napájení v uzlové rozvodně Prosenice

V případě výpadku rozvodny Prosenice dojde k přerušení dodávky elektrické energie do rozvodnů HDLN a OLCH. Stanice OLCS výpadkem postižena nebude, jelikož její napájení bude zajištěno z rozvodny CERV. Ta je v tomto případě napájena transformátorem T402 z rozvodny Krasíkov.

Výpadek tedy postihne dvě ze tří elektrických stanic napájející síť VN v olomoucké aglomeraci. To je poměrně komplikovaný problém, který je však možné vyřešit, je-li část zatížení převzata rozvodnou STER. Zbylé zatížení je možné dodat z rozvodny OLCS, která ovšem bude zatížena téměř na 100 %. K dosažení zálohování bude využito následujících manipulací v sítí:

1. Vypnout vývod 10 (124 A) v rozvodně HDLN a zapnout odpínač US_OC_5057. Vedení 10 je napájeno z rozvodny Šternberk transformátorem T102.
2. Vypnout vývody 312 (76 A), 923 (35 A) a 925 (76 A) v rozvodně HDLN. Zapnout v DTS OC_3962 všechny vývody a v DTS OC_3919 vývod k vedení 925. Zatížení odpojených vinutí převezme po vedení 329 transformátor T101 v rozvodně OLCS.
3. Přepnout vývod 305 (103 A) z přípojnice W12 na W22 v rozvodně HDLN.
4. Vypnout vývody 948 (64 A) a 949 (91 A) v rozvodně Slavonín a následně vypnout vývody 2003 (69 A) a 937 (77 A) v rozvodně Kubíčková.
5. Přepnout vývod 931 (57 A) z přípojnice W21 na W11 v rozvodně OLCS. Poté zapnout DST OC_4039, OC_4014, OC_3884 a OC_3866. Zatížení odpojených vedení 948, 949, 937 a 2003 převezme po vedení 931 transformátor T101.
6. Zapnout vývody 929 a 938 v rozvodně TOL a následně zapnout příčný spínač přípojníc v rozvodně TOL. Zatížení transformátoru T103 a zatížení vedení 305 v rozvodně HDLN je

7. Zapnout vývod 2035 v rozvodně Neředín, která tedy bude napájena třemi paralelními vedeními (2033, 2034 a 2035).
8. Zapnout vývody 945 a 966 v rozvodně Slavonín a odpínač US_OC_5570. Napájení rozvodny OLCH bude zajištěno z rozvodny OLCS transformátorem T102, přes spínací stanice Neředín a Slavonín vedeními: 2033, 2034 a 2035; 1847 (945), 944 (966) a 17; 298 a 300.
9. Zapnout vývod 316 v rozvodně HDLN. Zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně HDLN převezme transformátor T102 v rozvodně OLCS.



Výpočty zatížení vývodů a transformátorů

$$I_{T102-St} = I_{T102-St} + I_{10-H} = 612 \text{ A}$$
$$I_{10-\text{st}} = I_{10-\text{st}} + I_{10-\text{H}} = 233 \text{ A}$$

Zatížení transformátoru T101 v rozvodně OLCS se zvýší o celkové zatížení transformátoru T103 a vedení 305 v rozvodně HDLN, dále zatížení vedení 948 a 949 z rozvodny Slavonín a 931 rozvodny OLCS

$$I_{T101-OS} = I_{T101-OS} + I_{T103-H} + I_{305-H} + I_{948-S} + I_{949-S} + I_{931-OS} = 1241 \text{ A}$$

Vedení 931 převezme zatížení vedení 2003, 937 z rozvodny Kubičkova a 948, 949 z rozvodny Slavonín. Jeho zatížení se tedy zvýší na hodnotu

$$I_{931-OS} = I_{931-OS} + I_{2003-K} + I_{937-K} + I_{948-S} + I_{949-S} = 358 \text{ A}$$

Vedení 329 převezme zatížení vedení 312, 923, 925 z rozvodny HDLN a jeho odebíraný proud se zvýší na hodnotu

$$I_{329-OS} = I_{329-OS} + I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H} = 250 \text{ A}$$

Zatížení vedení 935 a 936 se zvýší o zbylé zatížení transformátoru T103 a vedení 305 v rozvodně HDLN a sníží o odpojená vedení 2003 a 937 v rozvodně Kubičkova a přerozdělí se v poměru jejich impedancí:

$$I_{935-OS} = (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{T103-H} + I_{325-H}) \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} - \\ -(I_{2003-K} + I_{937-K} + I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H}) \cdot \frac{I_{935-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 325 \text{ A}$$

$$I_{936-OS} = (I_{935-OS} + I_{936-OS} + I_{T103-H} + I_{325-H}) \cdot \frac{I_{936-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} - \\ -(I_{2003-K} + I_{937-K} + I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H}) \cdot \frac{I_{936-OS}}{I_{935-OS} + I_{936-OS}} = 321 \text{ A}$$

$$I_{935-K} = (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{T103-H} + I_{325-H}) \cdot \frac{I_{935-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} - \\ -(I_{2003-K} + I_{937-K} + I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H}) \cdot \frac{I_{935-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 330 \text{ A}$$

$$I_{936-K} = (I_{935-K} + I_{936-K} + I_{T103-H} + I_{325-H}) \cdot \frac{I_{936-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} - \\ -(I_{2003-K} + I_{937-K} + I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H}) \cdot \frac{I_{936-K}}{I_{935-K} + I_{936-K}} = 324 \text{ A}$$

Vedeními 938 a 940 se bude napájet rozvodna TOL a jejich zatížení se přepočtou v poměru momentů proudů

$$I_{938-K} = \frac{(I_{940-K} - I_{940-T}) + 2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} + I_{940-K} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{3 \cdot I_{938-K}}{4} = 321 \text{ A}$$

$$I_{940-K} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} + I_{940-K} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{3 \cdot (I_{940-K} - I_{940-T})}{4} = 293 \text{ A}$$

$$I_{938-T} = \frac{(I_{940-K} - I_{940-T}) + 2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} + I_{940-K} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H})]}{4} -$$

$$- \frac{I_{938-K}}{4} = 266 \text{ A}$$

$$I_{940-T} = \frac{I_{938-K} + 2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} + I_{940-K} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H})]}{4} -$$

$$- \frac{(I_{940-K} - I_{940-T})}{4} = 294 \text{ A}$$

Zatížení vedení 929 – 967 a 927 – 968 napájející rozvodnu HDLN se opět přerozdělí podle proudových momentů

$$I_{929-T} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H} + I_{967-H} + I_{968-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{(I_{927-T} + I_{968-H}) + 3 \cdot I_{967-H}}{4} = 262 \text{ A}$$

$$I_{927-T} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H} + I_{967-H} + I_{968-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{I_{967-H} + 3 \cdot (I_{927-T} + I_{968-H})}{4} = 291 \text{ A}$$

$$I_{967-H} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H} + I_{967-H} + I_{968-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{(I_{927-T} + I_{968-H}) - I_{967-H}}{4} = 206 \text{ A}$$

$$I_{968-H} = \frac{2 \cdot [I_{T103-H} + I_{305-H} - (I_{312-H} + I_{923-H} + I_{925-H} + I_{967-H} + I_{968-H})]}{4} +$$

$$+ \frac{I_{967-H} - (I_{927-T} + I_{968-H})}{4} = 177 \text{ A}$$

Transformátor T102 rozvodně OLCS převezme zbylé zatížení transformátorů T102 v rozvodně OLCH a T102 v rozvodně HDLN

$$\begin{aligned} I_{T102-OS} &= I_{T102-OS} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{931-OS} + I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-OS}) = \\ &= 1228 \text{ A} \end{aligned}$$

Velikost proudu, kterým je potřeba napájet rozvodnu Neředín, se zvýší o zbylé zatížení transformátorů T102 v rozvodně OLCH a T102 v rozvodně HDLN. Je tedy zapotřebí rozvodnu Neředín napájet pomocí vedení 2033, 2034 a 2035, jejichž zatížení se vypočte z momentů proudů

$$I_{2033-OS} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{4 \cdot (I_{2033-OS} - I_{2033-K}) + (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) + I_{2035-OS}}{6} = 334 \text{ A}$$

$$I_{2034-OS} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{(I_{2033-OS} - I_{2033-K}) + 4 \cdot (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) + I_{2035-OS}}{6} = 331 \text{ A}$$

$$I_{2035-OS} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{(I_{2033-OS} - I_{2033-K}) + (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) + 4 \cdot I_{2035-OS}}{6} = 334 \text{ A}$$

$$I_{2033-N} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{-2 \cdot (I_{2033-OS} - I_{2033-K}) + (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) + I_{2035-OS}}{6} = 329 \text{ A}$$

$$I_{2034-N} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{(I_{2033-OS} - I_{2033-K}) - 2 \cdot (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) + I_{2035-OS}}{6} = 332 \text{ A}$$

$$I_{2035-N} = \frac{2[I_{2033-K} + I_{2034-K} + I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H})]}{6} + \\ + \frac{(I_{2033-OS} - I_{2033-K}) + (I_{2034-OS} - I_{2034-K}) - 2 \cdot I_{2035-OS}}{6} = 329 \text{ A}$$

Zatížení vedení 1847 – 945, 944 – 966 a 07 napájející rozvodnu Slavonín se opět přerozdělí podle rovností momentů proudů

$$I_{1847-N} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} + \\ + \frac{4 \cdot I_{1847-K} + I_{944-K} + (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 263 \text{ A}$$

$$I_{944-N} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} +$$

$$+ \frac{I_{1847-K} + 4 \cdot I_{944-K} + (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 273 \text{ A}$$

$$I_{07-N} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} +$$

$$+ \frac{I_{1847-K} + I_{944-K} + 4 \cdot (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 258 \text{ A}$$

$$I_{945-S} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} +$$

$$+ \frac{-2 \cdot I_{1847-K} + I_{944-K} + (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 173 \text{ A}$$

$$I_{966-S} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} +$$

$$+ \frac{I_{1847-K} - 2 \cdot I_{944-K} + (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 163 \text{ A}$$

$$I_{07-S} = \frac{2 \cdot [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{948-S} + I_{949-S} + I_{10-H} + I_{305-H} + I_{07-S})]}{6} +$$

$$+ \frac{I_{1847-K} + I_{944-K} - 2 \cdot (I_{07-K} + I_{07-S})}{6} = 179 \text{ A}$$

Rozvodna OLCB bude napájena z rozvodny Slavonín po vedeních 298 a 300, jejichž zatížení se přepočtem v poměru jejich impedancí

$$I_{298-S} = [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{10-H} + I_{305-H})] \cdot \frac{I_{298-OH}}{I_{298-OH} + I_{300-OH}} =$$

$$= 219 \text{ A}$$

$$I_{300-S} = [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{298-S} + I_{300-S} + I_{10-H} + I_{305-H})] \cdot \frac{I_{300-OH}}{I_{298-OH} + I_{300-OH}} =$$

$$= 262 \text{ A}$$

$$I_{298-OH} = [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{298-OH} + I_{300-OH} + I_{10-H} + I_{305-H})] \cdot \frac{I_{298-S}}{I_{298-S} + I_{300-S}} =$$

$$= 254 \text{ A}$$

$$I_{300-OH} = [I_{T102-OH} + I_{T102-H} - (I_{298-OH} + I_{300-OH} + I_{10-H} + I_{305-H})] \cdot \frac{I_{300-S}}{I_{298-S} + I_{300-S}} =$$

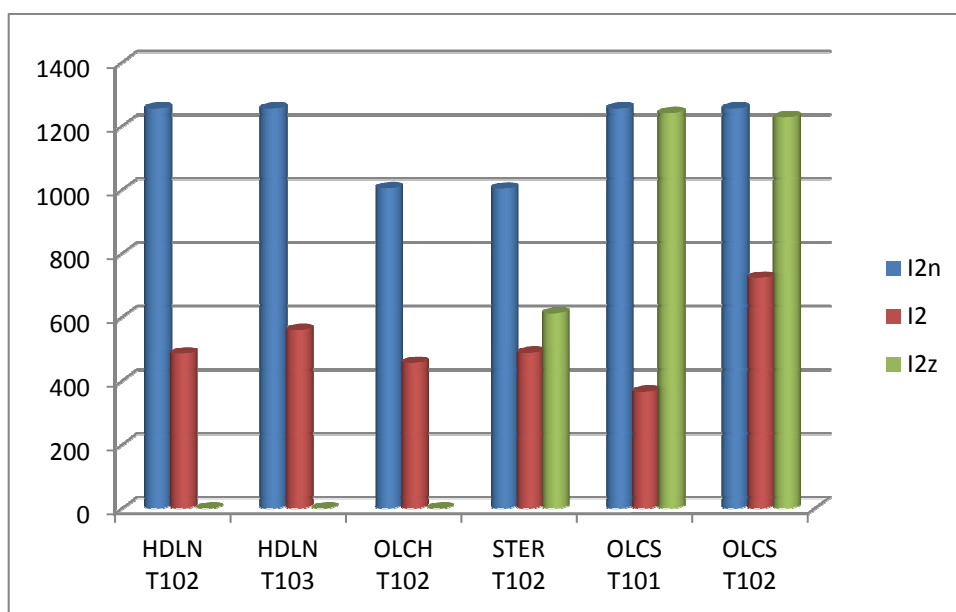
$$= 248 \text{ A}$$

Vedení 316, po kterém bude dodán zbylé zatížení transformátoru T102 v rozvodně HDLN, bude dosahovat zatížení

$$I_{316-OH} = I_{316-H} = I_{T102-H} - (I_{10-H} + I_{305-H}) = 258 \text{ A}$$

Tab. 5.8: Srovnání zatížení transformátorů při zálohování rozveden HDLN a OLCH

Rozvodna	Název transformátoru	S_n (MVA)	I_{n2} (A)	I_2		I_{2-z}	
				(A)	(%)	(A)	(%)
HDLN	T102	50	1255	486	38,7	0	0,0
	T103	50	1255	560	44,6	0	0,0
OLCH	T102	40	1005	457	45,4	0	0,0
STER	T102	40	1004	488	48,6	612	61,0
OLCS	T101	50	1255	366	29,2	1241	98,9
	T101	50	1255	724	57,7	1228	97,8



Obr. 5.23: Grafické znázornění transformátorů při zálohování rozvodny HDLN a OLCH

Kontrola úbytků napětí v rozvodnách

Napětí v rozvodně Kubičkova, která je napájena z rozvodny OLCS, bude odpovídat rozdílu napětí na přípojnici W11 v této rozvodně a úbytku na vedeních 935 a 936, po kterých je napájena

$$\Delta U_{935} = \sqrt{3} \cdot l_{935} \cdot (R_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \cos \varphi + X_{935} \cdot I'_{935-OS} \cdot \sin \varphi) = 0,14 \text{ kV}$$

$$U_K = U_{OS} - \Delta U_{935} = 22,37 \text{ kV}$$

Na vedeních 938 a 940 budou vznikat úbytky napětí, které po odečtení od napětí v rozvodně Kubíčková, určí velikost napětí v rozvodně TOL

$$\Delta U_{940} = \sqrt{3} \cdot l_{940} \cdot (R_{940} \cdot I'_{940-K} \cdot \cos \varphi + X_{940} \cdot I'_{940-K} \cdot \sin \varphi) = 0,16 \text{ kV}$$

$$U_T = U_{OS} - (\Delta U_{935} + \Delta U_{940}) = 22,21 \text{ kV}$$

Na přípojnících W21 a W22 rozvodny HDLN bude napětí, jehož hodnota se získá z napětí v rozvodně TOL, které se sníží o úbytek napětí, vzniklý na vedeních 929 – 967 a 927 – 968

$$\Delta U_{929} = \sqrt{3} \cdot l_{929} \cdot \left(I'_{929-T} - \frac{I_{967-H}}{2} \right) \cdot (R_{929} \cdot \cos \varphi + X_{929} \cdot \sin \varphi) = 0,24 \text{ kV}$$

$$U_H = U_{OS} - (\Delta U_{935} + \Delta U_{940} + \Delta U_{929}) = 21,97 \text{ kV}$$

Napětí v rozvodně Neředín se bude rovnat napětí na přípojnících W21 a W22 v rozvodně OLCS, sníženého o úbytky na vedeních 2033, 2034 a 2035, po nichž je rozvodna Neředín napájena

$$\Delta U_{2033} = \sqrt{3} \cdot l_{2033} \cdot (R_{2033} \cdot I'_{2033-N} \cdot \cos \varphi + X_{2033} \cdot I'_{2033-N} \cdot \sin \varphi) = 0,03 \text{ kV}$$

$$U_N = U_{OS} - \Delta U_{2033} = 22,62 \text{ kV}$$

Rozvodna Slavonín bude opět napájena třemi vedeními (1847 – 945, 944 – 966 a 07), na nichž vznikají úbytky napětí. Po odečtení těchto úbytků od napětí v rozvodně Neředín, dostaneme napětí v rozvodně Slavonín

$$\Delta U_{1847} = \sqrt{3} \cdot l_{945} \cdot \left(I'_{1847-N} - \frac{I_{1847}}{2} \right) \cdot (R_{1847} \cdot \cos \varphi + X_{1847} \cdot \sin \varphi) = 0,43 \text{ kV}$$

$$U_S = U_{OS} - (\Delta U_{2033} + \Delta U_{1847}) = 22,19 \text{ kV}$$

V případě rozvodny OLCH bude napětí vypočteno jako rozdíl napětí v rozvodně Slavonín a úbytků napětí na vedeních 298 a 300

$$\Delta U_{300} = \sqrt{3} \cdot l_{300} \cdot (R_{300} \cdot I'_{300-S} \cdot \cos \varphi + X_{300} \cdot I'_{2033-S} \cdot \sin \varphi) = 0,88 \text{ kV}$$

$$U_{OH} = U_{OS} - (\Delta U_{2033} + \Delta U_{1847} + \Delta U_{300}) = 21,32 \text{ kV}$$

Z velikosti napětí v rozvodně OLCH se po odečtení úbytku napětí na vedení 316 získá napětí na přípojnících W11 a W12 v rozvodně HDLN

$$\Delta U_{316} = \sqrt{3} \cdot l_{316} \cdot (R_{316} \cdot I'_{316-OH} \cdot \cos \varphi + X_{316} \cdot I'_{316-OH} \cdot \sin \varphi) = 0,47 \text{ kV}$$

$$U_H = U_{OS} - (\Delta U_{2033} + \Delta U_{1847} + \Delta U_{300} + \Delta U_{316}) = 20,84 \text{ kV}$$

Výpočet ztrát na vedení

Ztráty na vedení 329 se zvýší o zatížení přepojených vedení 925, 923 a 312

$$\Delta P_{329-OS} = 3 \cdot R_{329} \cdot l_{329} \cdot (I'_{329-OS} - I_{329-OS})^2 = 98,51 \text{ kW}$$

Ztráty na vedení 931 se zvýší o zatížení přepojených vedení 2003, 937 z rozvodny Kubičkova a 948, 949 z rozvodny Slavonín

$$\Delta P_{931-OS} = 3 \cdot R_{931} \cdot l_{931} \cdot (I'_{931-OS} - I_{931-OS})^2 = 98,51 \text{ kW}$$

Zvýšení ztrát na vývodech 935 a 936 z rozvodny OLCS bude způsobeno připojení zatížení rozvodny HDLN

$$\Delta P_{935-OS} = 3 \cdot R_{935} \cdot l_{935} \cdot (I'_{935-OS} - I_{935-OS})^2 = 16,64 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{936-OS} = 3 \cdot R_{936} \cdot l_{936} \cdot (I'_{936-OS} - I_{936-OS})^2 = 15,84 \text{ kW}$$

Obdobným způsobem se vypočtou přídavné ztráty na vedeních 938 a 940 napájející rozvodnu TOL a na vedeních 929, 927, jimiž je napájena rozvodna HDLN

$$\Delta P_{938-K} = 3 \cdot R_{938} \cdot l_{938} \cdot (I'_{938-K} - I_{938-K})^2 = 104,78 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{940-K} = 3 \cdot R_{940} \cdot l_{940} \cdot (I'_{940-K} - I_{940-K})^2 = 34,74 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{929-T} = 3 \cdot (R_{929} \cdot l_{929}) \cdot (I'_{929-T} - I_{967-H})^2 = 63,76 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{927-H} = 3 \cdot (R_{927} \cdot l_{927}) \cdot [I'_{927-T} - (I_{968-H} + I_{927-T})]^2 = 48,86 \text{ kW}$$

Ztráty na vedení 10 se zvýší o přídavné zatížení vedení 10, přepojeného z rozvodny HDLN na napájení z rozvodny STER

$$\Delta P_{10-St} = 3 \cdot R_{10} \cdot \frac{l_{10}}{2} \cdot I_{10-H}^2 = 151,46 \text{ kW}$$

Rozvodnu Neředín je nutné napájet třemi vedením, jelikož její odebíraný proud se zvýší o zatížení zálohovaných rozvodů HDLN, OLCH a Slavonín

$$\Delta P_{2033-OS} = 3 \cdot R_{2033} \cdot l_{2033} \cdot (I'_{2033-OS} - I_{2033-OS})^2 = 1,78 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2034-OS} = 3 \cdot R_{2034} \cdot l_{2034} \cdot (I'_{2034-OS} - I_{2034-OS})^2 = 1,92 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{2035-OS} = 3 \cdot R_{2035} \cdot l_{2035} \cdot (I'_{2035-OS} - I_{2035-OS})^2 = 15,04 \text{ kW}$$

Obdobně se zvýší ztráty i na vedeních 1847, 944 a 07, po kterých je napájena rozvodna Slavonín z rozvodny Neředín

$$\Delta P_{1847-N} = 3 \cdot R_{1847} \cdot l_{1847} \cdot (I'_{1847-N} - I_{1847-N})^2 = 86,39 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{944-N} = 3 \cdot R_{944} \cdot l_{944} \cdot (I'_{944-N} - I_{944-N})^2 = 57,81 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{07-N} = 3 \cdot R_{07} \cdot l_{07} \cdot (I'_{07-N} - (I_{07-N} + I_{07-S}))^2 = 46,94 \text{ kW}$$

Napájení rozvodny OLCH je zajištěno pomocí vedení 298 a 300, z toho důvodu na nich vznikají přídatné ztráty

$$\Delta P_{298-S} = 3 \cdot R_{298} \cdot l_{298} \cdot (I'_{298-S} - I_{298-OH})^2 = 56,91 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{300-S} = 3 \cdot R_{300} \cdot l_{300} \cdot (I'_{300-S} - I_{300-OH})^2 = 83,32 \text{ kW}$$

V případě záložního napájení přípojníc W11 a W12 v rozvodně HDLN, dojde ke zvýšení ztrát na přírodním vedení 316, po kterém je zmíněná rozvodna napájena z rozvodny OLCH

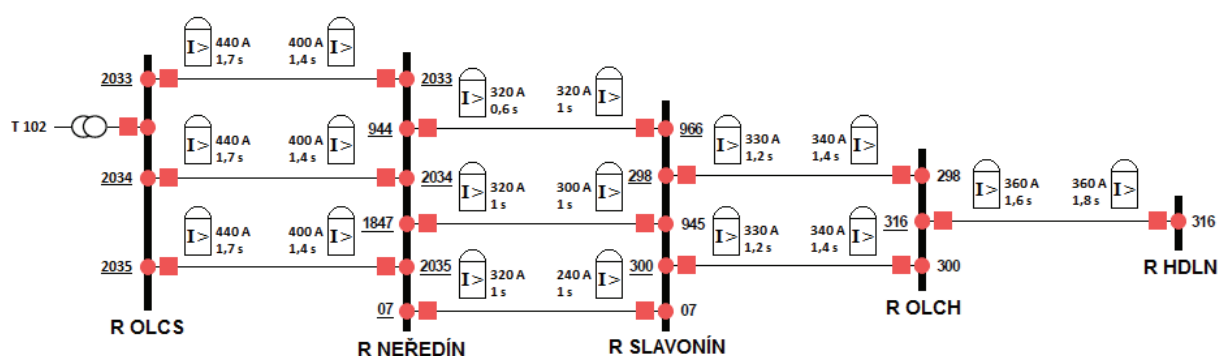
$$\Delta P_{316-OH} = 3 \cdot R_{316} \cdot l_{316} \cdot I'^2_{316-OH} = 155,13 \text{ kW}$$

Celkové výkonové ztráty, které vzniknou v důsledku záložního napájení, se vypočtou jako suma všech vypočtených dílčích ztrát na vedeních

$$\Delta P_{HDLN} = \sum \Delta P_i = 1241,28 \text{ kW}$$

Selektivita ochran

Při napájení přípojníc W21-W22 v rozvodně HDLN z rozvodny OLCS bude selektivita provedena obdobně jako při variantě zálohování rozvodny HDLN (kapitola 5.2.3).



Obr. 5.24: Selektivita napájecí cesty z rozvodny OLCS do rozvodny HDLN

V případě napájení rozvodn OLCH a HDLN z rozvodny OLCS (obr. 5.24) opět není dodržena selektivita jištění. Ta by se dala zajistit pomocí následujícího přenastavení ochran:

- vedení 2033, 2034 a 2035 v rozvodně Neředín: $t_{>} = 1,5 \text{ s}$,
- vedení 944, 1847 a 07 v rozvodně Neředín: $t_{>} = 1,4 \text{ s}$,
- vedení 966, 945 a 07 v rozvodně Slavonín: $t_{>} = 1,2 \text{ s}$,
- vedení 298 a 300 v rozvodně Slavonín: $t_{>} = 1,1 \text{ s}$,
- vedení 298 a 300 v rozvodně OLCH: $t_{>} = 0,9 \text{ s}$,
- vedení 316 v rozvodně OLCH: $t_{>} = 0,8 \text{ s}$,
- vedení 316 v rozvodně HDLN: $t_{>} = 0,6 \text{ s}$.

6 MULTIKRITERIÁLNÍ VYHODNOCENÍ VARIANT ŘEŠENÍ

6.1 Multikriteriální analýza

Metoda rozhodovací analýzy podle [11] představuje syntézu objektivního a subjektivního přístupu a spočívá na formalizaci rozhodovacího procesu vědecké analýzy informací, alternativ řešení a optimalizaci řešení, přičemž umožňuje i plné využití zkušeností a znalostí řešitelů.

Rozhodovací úlohy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií, se nazývají úlohami vícekriteriálního (multikriteriálního) rozhodování. Úlohy vícekriteriálního hodnocení variant lze charakterizovat tzv. kritériální maticí. V této matici sloupce odpovídají kritériím a řádky hodnoceným variantám. Označíme-li prvky kritériální matice y_{ij} , kde $i = 1, 2, \dots, p$ a $j = 1, 2, \dots, k$, můžeme kritériální matici zapsat ve tvaru

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_k \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{matrix} & \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{p1} & y_{p2} & \cdots & y_{pk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6.1)$$

Řada metod vícekriteriálního hodnocení variant vyžaduje kardinální informaci o relativní důležitosti, kterou lze vyjádřit pomocí vektoru vah kritérií

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k); \quad \sum_{i=1}^k v_i = 1; \quad v_i \geq 0 \quad (6.2)$$

Nejčastější metody MCA, které se využívají v oblasti elektroenergetiky, je možné podle výpočetního principu rozdělit na

- Metoda váženého součtu - WSA (Weighted Sum Approach) – založena na principu maximalizace užitku
- Metoda ideálních bodů - IPA (Ideal Points Analysis) – založena na odchylce mezi souborem ideálních řešení a souborem efektivních řešení
- Metoda shody a neshody - CDA (Concordance Discordance Analysis) – založena na porovnávání alternativ výběru po dvojicích
- Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – založena na principu minimalizace vzdálenosti od ideální varianty

Vícekritériální rozhodování je modelování rozhodovacích situací, ve kterých máme definovanou množinu variant a soubor kritérií, podle nichž budeme varianty hodnotit. Čím je důležitost kritéria vyšší, tím je vyšší i jeho váha. Odhady vah se konstruují pomocí jedné z následujících metod:

- Metoda pořadí
- Bodovací metoda
- Metoda párového srovnání kritérií - Fullerova metoda
- Metoda kvantitativního párového srovnání kritérií - Saatyho metoda
- Určení vah kritérií z geometrického průměru řádků

6.2 Stanovení vah kritérií (Fullerova metoda)

Zvolená kritéria:

- f_1 : Počet manipulací v síti – minimalizační kritérium
- f_2 : Poměrná proudová rezerva transformátorů VVN/VN, využitých k záložnímu napájení – maximalizační kritérium
- f_3 : Velikost ztrát, o které vzrostou celkové ztráty v síti – minimalizační kritérium
- f_4 : Poměrné proudové zatížení vedení VN, kterými bylo dosaženo zálohování – maximalizační kritérium

Pro odhad vah se zde používá informace, které ze dvou kritérií je při párovém srovnání důležitější. Postupně se srovnávají každá dvě kritéria mezi sebou, takže počet srovnání je

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k \cdot (k - 1)}{2} = \frac{4 \cdot (4 - 1)}{2} = 6$$

Srovnání kritérií se pak provádí v tzv. Fullerově trojúhelníku, ve kterém se kritérium, které je považováno za důležitější, označí červeně.

Tab. 6.1: Fullerův trojúhelník

f_1	f_1	f_1
f_2	f_3	f_4
		f_2
		f_3
		f_4

Váha i -tého kritéria se pak vypočte dle vztahu

$$v_i = \frac{n_i}{N}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (6.3)$$

Vektor vah tedy bude

$$v = (v_1; v_2; v_3) = \left(\frac{n_1}{N}; \frac{n_2}{N}; \frac{n_3}{N}; \frac{n_4}{N} \right) = \left(\frac{1}{6}; \frac{2}{6}; \frac{2,5}{6}; \frac{0,5}{6} \right) = (0,167; 0,333; 0,417; 0,083)$$

6.3 Určení optimální varianty metodou váženého součtu (WSA)

Výchozí kritériální matice Y navržených variant jsou

$$Y_{\text{OLCH}} = \begin{bmatrix} 7 & 632 & 115,5 & 205 \\ 5 & 411 & 211,6 & 107 \\ 11 & 602 & 122,6 & 177 \end{bmatrix}; \quad Y_{\text{OLCS}} = \begin{bmatrix} 8 & 236 & 1526,0 & 140 \\ 13 & 236 & 1585,2 & 116 \end{bmatrix}$$

Metoda váženého součtu vychází z principu maximalizace užitku, dopouští se však zjednodušení v tom, že předpokládá pouze lineární funkci užitku.

Nejprve vytvoříme normalizovanou kritériální matici $R = (r_{ij})$, jejíž prvky získáme z kritériální matice $Y = (y_{ij})$ pomocí transformačního vzorce pro maximalizační kritérium

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (6.4)$$

Tato matice již představuje matici hodnot užitku z i -té varianty podle j -tého kritéria. Podle vzorce (6.4) se lineárně transformují kritériální hodnoty tak, že $r_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$, D_j odpovídá minimální hodnota kritéria ve sloupci j a H_j odpovídá maximální hodnota kritéria ve sloupci j . Pro případ minimalizačního kritéria lze provést normalizaci takového sloupce v matici přímo použitím vztahu

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (6.5)$$

Maximální H a minimální D hodnoty z každého sloupce j budou

$$\begin{aligned} H_{\text{OLCH}} &= (11; 632; 211,6; 205); & H_{\text{OLCS}} &= (13; 236; 1585,2; 140) \\ D_{\text{OLCH}} &= (5; 411; 115,5; 107); & D_{\text{OLCS}} &= (8; 236; 1526,0; 116) \end{aligned}$$

Normalizované kritériální matice, kdy minimalizační kritéria jsou převedena na maximalizační, budou mít tvar

$$R_{\text{OLCH}} = \begin{bmatrix} 0,667 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,864 & 0,926 & 0,714 \end{bmatrix}; \quad R_{\text{OLCS}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Vynásobením jednotlivých řádků normalizované kritériální matice vypočteným vektorem vah se získají hodnoty užitku jednotlivých variant.

Tab. 6.2: Seřazení variant podle maximálního užitku

1. $u(a_1)_{\text{OLCH}} = 0,94$	1. $u(a_1)_{\text{OLCS}} = 0,67$
2. $u(a_3)_{\text{OLCH}} = 0,73$	2. $u(a_2)_{\text{OLCS}} = 0$
3. $u(a_2)_{\text{OLCH}} = 0,17$	

ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo ověřit možnosti zálohování rozvoden 110kV/VN v olomoucké aglomeraci s využitím sítí VN. V práci je popsána i možnost zálohování při výpadku jednoho z napájecích transformátorů VVN/VN a také možnosti pokrytí spotřeby města Olomouce v případě výpadku uzlové rozvodny Prosenice.

Teoretická část se zabývá elektrickými sítěmi z hlediska definice jejich parametrů, výpočtu ustáleného chodu a opatření nutných pro jejich dimenzování. Je zde popsána distribuční soustava, převážně tedy charakteristiky a vývoj městských sítí, ale obsahuje také stručný popis elektrických stanic a vedení používaných v ES. Závěrem teoretické části jsou definovány kvalitativní parametry dodávky elektrické energie převážně z pohledu české legislativy.

V praktické části jsou nejprve popsány elektrické stanice VVN/VN. Pro účely diplomové práce se jedná o rozvodny Hodolany, Olomouc Sever a Olomouc Holice, které slouží k transformaci napětí z hladiny 110 kV na 22 kV a k napájení olomoucké aglomerace. Byly zde posuzovány tři typy výpadku napájení, které budou dále zhodnoceny.

V prvním případě byl vyšetřován výpadek jednoho z napájecích transformátorů VVN/VN. Ve všech rozvodnách je možné dodat výkon vypadnutého transformátoru pomocí zbylých transformátorů, které jsou instalovány v postižené rozvodně. V případě rozvodny Hodolany, kde jsou tři transformátory, jsou navrženy 2 varianty zálohování. První variantou je dodat veškerý výkon rozvodny transformátorem, který je při současné konfiguraci již zapojen do sítě. Druhou variantou je připojení rezervního transformátoru, který dodá do sítě výkon vypnutého transformátoru. Druhá varianta je výhodnější, jelikož bude výkon rovnoměrněji rozložený na dva napájecí transformátory.

Hlavním úkolem této práce je zálohování vytypovaných rozvoden 110kV/VN. V případě výpadku jedné z rozvoden je zapotřebí nedodaný výkon pokrýt za pomoci vedení VN z okolních rozvoden v zadané oblasti, případně ze vzdálenějších rozvoden, se kterými je však možné rozvodu propojit vedeními VN. Toho je dosaženo manipulacemi na prvcích umístěných v síti pomocí dálkového ovládání těchto prvků z dispečinku.

U všech navržených variant je zálohováno 100 % nedodaného výkonu. V případě rozvoden, kde je navrženo více variant záložního napájení, byla k zjištění nejvhodnější varianty využita vícekritériální analýza metodou WSA. Pro zálohování rozvodny Olomouc Holice byla zvolena jako nejvhodnější 1. varianta, která získala hodnotu užitku 0,94. Druhá byla varianta 3 s hodnotou užitku 0,73 a třetí skončila 2. varianta s hodnotou užitku 0,17. V případě rozvodny Olomouc Sever byla jako nejvhodnější varianta vybrána opět varianta 1, u níž užitek dosahoval hodnoty 0,63. Druhá skončila varianta 2 s hodnotou užitku 0.

V případě zálohování rozvodny Olomouc Sever bylo při kontrole úbytků napětí zjištěno, že při záložním napájení z rozvodny Červenka dochází ke snížení napětí v postižené rozvodně na hodnotu 86,4 % jmenovitého napětí. Řešením by bylo přepojení určitých vývodů na napájení z ostatních rozvoden ve městě. Snížením zatížení přívodního vedení 16 by došlo ke snížení úbytku napětí na tomto vedení a tedy i výkonových ztrát.

V posledním případě byl uvažován výpadek uzlové rozvodny Prosenice 400/220/110 kV, v jehož důsledku dojde k výpadku rozvoden Hodolany a Olomouc Holice. Napájení rozvodny Olomouc Sever je v tomto případě zajištěno z uzlové rozvodny Krasíkov 400/110 kV. Zatížení transformátorů v rozvodně Olomouc Sever dosahuje vypočtených hodnot $T_{101} = 98,9 \%$ a $T_{102} = 97,8 \%$. Takové zatížení by sice měli transformátory po určitou dobu snést, ale v případě zvýšení odběrů v síti by mohlo zatížení vzrůst nad 100 % a ochrany by způsobily vypnutí transformátoru.

Schémat jednotlivých variant zálohování jsou uvedena v přílohách, v nichž jsou zaznačeny provedené manipulace i proudové zatížení jednotlivých vývodů. Schémata obsahují také barevné označení napájecí cesty.

Z analýzy navržených variant zálohování rozvoden 110kV/vn je možné stanovit, kde je zapotřebí vynaložení investičních prostředků do rozvoje elektrické sítě. Jednalo by se buď o instalaci nových transformátorů, nebo o výstavbu nových vedení, případně o kombinaci obou těchto způsobů. V případě distribuční sítě v olomoucké aglomeraci při současné konfiguraci a odběrech není zapotřebí dalšího rozvoje. Za předpokladu rostoucího zatížení by však byla vhodná výstavba vedení mezi rozvodnami Hodolany a Olomouc Sever, po kterém by bylo možné část výkonu přenášet, a to v případě výpadku jedné z rozvoden.

Seznam použité literatury

- [1] TŮMA, Jiří; RUSEK, Stanislav; GOŇO, Radomír; MARTÍNEK, Zbyněk; CHEMIŠINEC, Igor: *Spolehlivost v elektroenergetice*. Praha: CONTE spol. s r. o., ČVUT. 2006. 291 s. ISBN 80-239-6483-6
- [2] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. 263 s. ISBN 978-80-01-04935-8
- [3] HODINKA, Miloslav. *Elektrické sítě I*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1973. 317 s.
- [4] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1992. 164 s. ISBN 80-7078-132-7 (brož.)
- [5] RUSEK, Stanislav. *Teoretické elektroenergetika: Učební texty*. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2007. 75 s.
- [6] HODINKA, Miloslav; FECKO, Štefan; NĚMEČEK, František. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 323 s. ISBN 80-03-00065-3
- [7] GURECKÝ, Jiří. *Přenos a rozvod elektrické energie: Učební texty pro kombinovanou formu studia*. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky
- [8] FENCL, František. *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. Vyd. 3. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 198 s. ISBN 80-01-02771-6
- [9] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. Vyd. 2. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. 212 s. ISBN 80-248-0175-2
- [10] ŠTROBLOVÁ, Milada; HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Elektrické sítě městské a průmyslové*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994. 149 s. ISBN 80-7082-154-X
- [11] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 210 s. ISBN 978-80-248-1696-8
- [12] Česká Republika. Vyhláška č. 41/2010 Sb.: o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. In: *Sbírka zákonů*. 12. 2. 2010. Částka 15. ISSN 1211-1244
- [13] ČSN EN 50160 ed. 3. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 32 s. Třídící znak 33 0122.
- [14] Česká Republika. Zákon č. 458/2010 Sb.: o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů*. 29. 12. 2000. Částka 131

- [15] Česká Republika. Vyhláška č. 80/2010 Sb.: o stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu. In: *Sbírka zákonů*. 29. 3. 2010. Částka 28. ISSN 1211-1244
- [16] TROJÁNEK, Zdeněk; TŮMA, Jiří. *Řízení elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické, 1990. 306 s. ISBN 80-01-00438-4
- [17] RUSEK, Stanislav. *Řízení elektrizačních soustav*: Učební texty. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky
- [18] Dokumentace ČEZ Distribuce, a.s.
- [19] PAVLOVSKÝ, Bohumír. *Elektrické sítě v městech a sídlištích*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975. 423 s.
- [20] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: Vysoké učení technické, 1986. 160 s.

Seznam obrázků

Obr. 1	Schematické uspořádání ES	2
Obr. 1.1	Jednofázový model vedení	7
Obr. 1.2	Fázorový diagram vedení	8
Obr. 1.3	Jednostranně napájené trojfázové vedení	8
Obr. 1.4	Dvoustranně napájené trojfázové vedení	9
Obr. 1.5	Proudové rozložení podél vedení	9
Obr. 1.6	Elementární úsek vedení	10
Obr. 1.7	Náhradní schéma vedení článkem T	10
Obr. 1.8	Náhradní schéma vedení článkem II	11
Obr. 2.1	Návaznost napěťových hladin distribučních rozvodných soustav	14
Obr. 2.2	Stupně vývoje elektrizace	17
Obr. 2.3	Schéma napájení městské sítě	18
Obr. 2.4	Schéma paprskové sítě NN a VN	18
Obr. 2.5	Schéma okružní sítě	18
Obr. 2.6	Schéma zjednodušené mřížové sítě	19
Obr. 2.7	Schéma klasické mřížové sítě	19
Obr. 3.1	Průběh intenzity poruch – „Vanová křivka“	23
Obr. 3.2	Základní schéma dvoustavového Markova procesu	24
Obr. 3.3	Systém se sériovým zapojením n prvků	25
Obr. 3.4	Systém spojený z n prvků pracujících funkčně paralelně	26
Obr. 4.1	Napájení města s použitím spínacích stanic	28
Obr. 4.2	Schéma rozvodny Hodolany	29
Obr. 4.3	Schéma rozvodny Olomouc Holice	31
Obr. 4.4	Schéma rozvodny Olomouc Sever	32
Obr. 5.1	Rozdělení zatížení v rozvodnách při výpadku jednoho napájecího transformátoru	34
Obr. 5.2	Schematické znázornění 1. varianty zálohování rozvodny OLCH	35
Obr. 5.3	Grafické znázornění zatížení transformátorů 1. varianty zálohování rozvodny OLCH	38
Obr. 5.4	Selektivita ochran při zálohování rozvodny OLCH a Slavonín	40
Obr. 5.5	Schematické znázornění 2. varianty zálohování rozvodny OLCH	41
Obr. 5.6	Grafické znázornění zatížení transformátorů 2. varianty zálohování rozvodny OLCH	42
Obr. 5.7	Selektivita ochran při záložním napájení rozvodny Slavonín	44
Obr. 5.8	Schematické znázornění 3. varianty zálohování rozvodny OLCH	44
Obr. 5.9	Grafické znázornění zatížení transformátorů 3. varianty zálohování rozvodny OLCH	47
Obr. 5.10	Schematické znázornění 1. varianty zálohování rozvodny OLCS	49
Obr. 5.11	Grafické znázornění zatížení transformátorů 1. varianty zálohování rozvodny OLCS	52
Obr. 5.12	Selektivita napájení cesty z rozvodny HDLN do rozvodny OLCS	55
Obr. 5.13	Selektivita napájecí cesty z rozvodny OLCS do rozvodny Neředín	55
Obr. 5.14	Selektivita napájení cesty z rozvodny CERV do rozvodny OLCS	55

Obr. 5.15	Schematické znázornění 2. varianty zálohování rozvodny OLCS	56
Obr. 5.16	Grafické znázornění zatížení transformátorů 2. varianty zálohování rozvodny OLCS	59
Obr. 5.17	Selektivita napájení cesty z rozvodny HDLN do rozvodny OLCS	61
Obr. 5.18	Schematické znázornění zálohování rozvodny HDLN	62
Obr. 5.19	Grafické znázornění zatížení transformátorů při zálohování rozvodny HDLN	64
Obr. 5.20	Selektivita napájení cesty z rozvodny OLCS do rozvodny HDLN	67
Obr. 5.21	Selektivita napájení cesty z rozvodny OLCH do rozvodny HDLN	67
Obr. 5.22	Schematické znázornění zálohování rozvodu HDLN a OLCH	68
Obr. 5.23	Grafické znázornění transformátorů při zálohování rozvodny HDLN a OLCH	73
Obr. 5.24	Selektivita napájení cesty z rozvodny OLCS do rozvodny HDLN	76

Seznam tabulek

Tab. 4.1	Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Hodolany	29
Tab. 4.2	Nastavení ochran a zatížení vývodů v rozvodně Hodolany	30
Tab. 4.3	Nastavení ochran a zatížení vývodů v rozvodně Olomouc Holice	31
Tab. 4.4	Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Olomouc Holice	31
Tab. 4.5	Jmenovité hodnoty a zatížení transformátorů v rozvodně Olomouc Sever	32
Tab. 4.6	Nastavení ochran a zatížení vývodů v rozvodně Olomouc Sever	32
Tab. 5.1	Zatížení transformátorů v rozvodně při výpadku jednoho transformátoru	34
Tab. 5.2	Srovnání zatížení transformátorů při 1. variantě zálohování rozvodny OLCH	38
Tab. 5.3	Srovnání zatížení transformátorů při 2. variantě zálohování rozvodny OLCH	42
Tab. 5.4	Srovnání zatížení transformátorů při 3. variantě zálohování rozvodny OLCH	47
Tab. 5.5	Srovnání zatížení transformátorů při 1. variantě zálohování rozvodny OLCS	52
Tab. 5.6	Srovnání zatížení transformátorů při 2. Variantě zálohování rozvodny OLCS	58
Tab. 5.7	Srovnání zatížení transformátorů při zálohování rozvodny HDLN	64
Tab. 5.8	Srovnání zatížení transformátorů při zálohování rozvodu HDLN a OLCH	73
Tab. 6.1	Fullerův trojúhelník	78
Tab. 6.2	Seřazení variant podle maximálního užitku	79

Seznam příloh

Příloha 1	Zálohování rozvodny OLCH - varianta 1
Příloha 2	Zálohování rozvodny OLCH - varianta 2
Příloha 3	Zálohování rozvodny OLCH - varianta 3
Příloha 4	Zálohování rozvodny OLCS - varianta 1
Příloha 5	Zálohování rozvodny OLCS - varianta 2
Příloha 6	Zálohování rozvodny HDLN
Příloha 7	Zálohování rozvodu HDLN a OLCH